



**Diogo Emílio da
Fonseca Ussemane
Pires Corrente**

**Tomografia Computorizada intraoperatória na
artrodese lombar**



**Diogo Emílio da
Fonseca Ussemane
Pires Corrente**

**Tomografia Computorizada intraoperatória na
artrodese lombar**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Materiais e Dispositivos Biomédicos, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Sílvia De Francesco, Professora Adjunta da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro, e coorientação do Professor Doutor Rui Ramos Ferreira e Silva, Professor Associado do Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica.

Dedico este trabalho à minha família, em especial ao meu pai que
estará sempre presente na minha vida.

o júri

Presidente

Professor Doutor Francisco Manuel Lemos Amado
professor associado da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Luís Jorge Oliveira Carrasco Lança
professor adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Saúde de Lisboa

Professora Doutora Sílvia de Francesco
professora adjunta da Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a disponibilidade e ajuda prestada pelos meus orientadores, Sílvia De Francesco e Rui Ramos Ferreira e Silva, na elaboração deste trabalho.

Agradeço à minha família por ter sido um pilar ao longo de toda a minha vida, com especial apreço à minha mãe pois sem ela não seria a pessoa que me tornei, e à Cátia Magalhães por ter-me acompanhado ao longo deste percurso.

Agradeço também a disponibilidade e apoio prestado por todos os meus colegas de trabalho e amigos.

palavras-chave

artrodese lombar, tomografia computadorizada intraoperatória, dispositivos de fusão intervertebral, parafusos pediculares

resumo

O presente relatório desenvolvido com base na prática clínica tem como objetivo demonstrar a importância da utilização da Tomografia Computorizada Intraoperatória (iTC) na realização de artrodese lombar, sendo este um procedimento que consiste na fusão de uma ou mais vértebras lombares de modo a aliviar a dor relacionada com certas patologias.

A fusão entre as vértebras ocorre através da utilização de excertos ósseos ou outros materiais, como ligas metálicas, polímeros, compósitos ou cerâmicos. De modo a ajudar no processo de fusão são também utilizados dispositivos de fixação tais como parafusos pediculares, hastes e barras.

A possibilidade de reconstruções MPR (*Multiplanar Reformation*) e VRT (*Volume Rendering Technique*), assim como a possibilidade de variar as janelas de visualização das imagens de iTC permitem uma melhor discriminação anatómica e, conseqüentemente, que a utilização da iTC, quando comparada com a do intensificador de imagem móvel, seja mais precisa na avaliação da colocação dos parafusos pediculares, evitando possíveis lesões causadas pela sua má colocação.

keywords

lumbar arthrodesis, intraoperative computed tomography, fusion interbody devices, pedicle screws

abstract

This report developed in clinical practice aims to demonstrate the importance of the intraoperative Computed Tomography (iCT) in the lumbar arthrodesis performance. It consists in the fusion of single or multiple lumbar vertebrae in order to relieve the pain related to some specific pathologies.

The vertebral fusion is accomplished using bone grafts or other materials such as bone substitutes, metal alloys, polymers, composites or ceramics. In order to assist in the interbody fusion process, fixation devices such as pedicle screws, rods and plates are also used.

The possibility of MPR (*Multipplanar Reformation*) and VRT (*Volume Rendering Technique*) reconstructions, as well as the ability of changing the windows levels of iCT images, allow a better anatomical discrimination and consequently, when compared with commonly used the mobile C-arm, the iCT appears more accurate in evaluating the placement of pedicle screws, avoiding possible injuries caused by their misplacement.

Índice

Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Estrutura do relatório.....	2
Capítulo 2. Metodologia	5
Capítulo 3. Coluna vertebral	7
3.1. Revisão anatómica	7
3.2. Coluna cervical	9
3.3. Coluna dorsal	11
3.4. Coluna lombar.....	11
3.5. Coluna sagrada e coccígea.....	12
Capítulo 4. Artrodese lombar.....	15
4.1. Epidemiologia da dor lombar	15
4.2. Indicações para artrodese lombar	16
4.3. Técnicas cirúrgicas	16
4.3.1. Artrodese lombar anterior.....	17
4.3.2. Artrodese lombar posterior	19
4.3.3. Artrodese lombar transforaminal	20
Capítulo 5. Materiais utilizados na artrodese lombar	23
5.1. Dispositivos de fusão biológicos.....	24
5.2. Substitutos ósseos.....	25
5.3. Dispositivos de fusão metálicos	27
5.4. Dispositivos de fusão poliméricos	28
5.5. Dispositivos de fusão cerâmicos	29
5.6. Dispositivos de fixação.....	30
Capítulo 6. Métodos de imagem intraoperatórios	35
6.1. Intensificador de Imagem	35
6.2. Tomografia Computorizada intraoperatória	38
Capítulo 7. Análise de dados	41
7.1. Qual a importância da iTC?	42

7.2.	Dose de radiação.....	47
7.3.	Artefactos na TC.....	50
7.4.	Crêterios de utilização da iTC.....	57
Capítulo 8.	Conclusão.....	61
Referências bibliográficas		63

Índice de figuras

Figura 1 – iTC <i>sliding gantry</i> . Siemens SOMATOM Emotion 6	5
Figura 2 – Intensificador de Imagem. Siemens Arcadis Varic.....	6
Figura 3 – Imagem lateral, anterior e posterior da coluna vertebral.....	8
Figura 4 – Segmento da coluna vertebral.....	8
Figura 5 – Constituição do disco intervertebral	9
Figura 6 – Vista superior da representação de uma vértebra lombar	9
Figura 7 – Vista superior (a) e vista lateral (b) do áxis.....	10
Figura 8 – Atlas e áxis	10
Figura 9 – Vista superior do atlas	10
Figura 10 – Vista superior (a) e vista lateral (b) de uma vértebra dorsal.....	11
Figura 11 – Vista lateral da coluna lombar	12
Figura 12 – Vista superior de uma vértebra lombar	12
Figura 13 – Vista anterior (a) e posterior (b) do sacro e cóccix.....	13
Figura 14 – Incisão paramediana abdominal para a realização de ALIF.....	18
Figura 15 – Ilustração esquemática da ALIF	18
Figura 16 – Incisão na linha média do dorso para realização de PLIF.....	19
Figura 17 – Ilustração sequencial da PLIF. (a) Laminectomia; (b) Retração das raízes nervosas; (c) Inserção da <i>cage</i> e enxerto ósseo; (d) Fixação de parafusos pediculares e de hastes com material ósseo	20
Figura 18 – Localização da incisão no dorso para realização de TLIF	21
Figura 19 – Ilustração sequencial da TLIF. (a) Remoção da face lateral da vértebra; (b) Inserção da <i>cage</i> e enxerto ósseo; (c) Dispositivos de fixação com material ósseo	21
Figura 20 – Dispositivo de fusão biológico (aloenxerto). Medtronic Sofamor Danck - Bone Dowels	25
Figura 21 – Dispositivo de fusão biológico (aloenxerto). Medtronic Sofamor Danck - Femoral Rings.....	25
Figura 22 – <i>InFuse Bone Graft</i> (rhBMP-2) inserido numa LT-CAGE	26
Figura 23 – Dispositivo de fusão metálico. LT CAGE.....	27
Figura 24 – Dispositivo de fusão polimérico. PEEK Cage.....	28

Figura 25 – Radiografia de perfil da coluna lombossagrada. Marcadores metálicos (setas brancas)	29
Figura 26 – Dispositivo de fusão cerâmico de Si_3N_4 . Amedica - Valeo® PL.....	30
Figura 27 – Radiografia AP extralongo da coluna vertebral antes (a) e após (b) aplicação de parafusos pediculares e barras.....	31
Figura 28 – Parafuso pedicular e barras. ISOLA	31
Figura 29 – Parafusos pediculares e barras de ligas de Ti. INFINA Spinal System...	32
Figura 30 – Placa e parafusos pediculares. Steffee	32
Figura 31 – Parafusos pediculares conectados por barra constituída por PEEK. CD-Horizon Legacy PEEK rods™	33
Figura 32 – Imagem de DSA	36
Figura 33 – Arco em C com <i>flat panel</i> . Philips - Verdius	36
Figura 34 – Arco em C com <i>flat panel</i> . Ziehm Vision - FD Vario 3D	37
Figura 35 – Arco em C. Siemens - <i>Arcadis Orbic 3D</i>	37
Figura 36 – Arco em O. Medtronic - O-arm.....	37
Figura 37 – Mesa cirúrgica constituída por um compósito de fibra de carbono.....	38
Figura 38 – mTC. Tomoscan M.....	39
Figura 39 – Carris onde se desloca a iTC <i>sliding gantry</i> na sala de operações	39
Figura 40 – Diagrama de utilização de iTC	40
Figura 41 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo (a) e tecidos moles (b)	43
Figura 42 – Imagem axial janela de osso com visualização de dois parafusos pediculares	43
Figura 43 – Reformatações no plano coronal (a) e plano sagital (b)	44
Figura 44 – Imagem AP (a) e perfil (b) da coluna lombar	44
Figura 45 – Imagem axial em janela de osso (a) e tecidos moles (b). Parafusos pediculares com perfuração da totalidade do corpo vertebral	45
Figura 46 – Imagens VRT com várias rotações de artrodese lombar a nível L4-L5 ..	46
Figura 47 – Imagens VRT com várias rotações de artrodese vertebral a nível D11\L3	47
Figura 48 – Equipa na sala de comandos	48

Figura 49 – Imagem axial em janela de osso com presença de artefactos causados por parafusos pediculares (setas amarelas)	50
Figura 50 – Imagem axial em janela para visualização de tecidos moles (a) e tecido ósseo (b). Ambas com presença de artefactos causados por parafusos pediculares (setas amarelas)	51
Figura 51 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo com espessura de corte de 3,0mm (a) e 1,5mm (b).....	51
Figura 52 – Imagem axial em janela para visualização de tecidos moles com filtro B10s (a), filtro B20s (b), filtro B31s (c) e filtro B40s (d) com marcação de ROI 2.....	53
Figura 53 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo com filtro B50s (a), filtro B60s (b), filtro B70s (c) e filtro B90s (d) com marcação de ROI 2.....	54
Figura 54 – Marcação da ROI 1	56
Figura 55 – Imagem AP obtida por intensificador de imagem móvel para marcação de local de entrada do parafuso pedicular (seta amarela)	58

Índice de tabelas

Tabela 1 – Fatores que influenciam a cicatrização óssea.....	23
Tabela 2 – Valor de UH médio e do σ obtidos na ROI 2 conforme a Figura 52 em imagem visualizadas em janela de tecidos moles.....	53
Tabela 3 – Valor de UH médio e do σ obtidos na ROI 2 marcado conforme a Figura 53 em imagens visualizadas em janela de osso	55
Tabela 4 – Valor de UH médio e do σ na ROI 1 marcado conforme a Figura 54 em imagens visualizadas em janela de tecidos moles e osso	56

Índice de gráficos

Gráfico 1 – N° de artrodeses lombares realizadas no Hospital da Luz de março a outubro de 2012	41
Gráfico 2 – Caixa de bigodes dos valores de DLP	49
Gráfico 3 – Caixa de bigodes dos valores de $CTDI_{vol}$	49
Gráfico 4 – Variação do σ obtido da marcação das duas ROI nas imagens reconstruídas com os diferentes filtros de reconstrução	57
Gráfico 5 – N° de procedimentos realizados com apoio da iTC e iTC + intensificador de imagem móvel de janeiro de 2010 a outubro de 2012	59

Abreviaturas

ALIF – *Anterior Lumbar Interbody Fusion*

AP – ântero-posterior

ATARP – Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear

BMP – *Bone Morphogenic Protein*

CTDI_{vol} – Índice de dose de TC ponderado por volume

DBM – *Demineralized Bone Matrix*

DLP – *Dose Length Product*

DSA – *Digital Subtraction Angiography*

Eco – Ecografia

FDA – *Food and Drug Administration*

HA – Hidroxiapatite

HCl – Ácido clorídrico

iTC – Tomografia Computorizada intraoperatória

kVp – kilovolt pico

mAs – miliampere-segundo

mGy·cm – miliGray × centímetro

MPR – *Multiplanar Reformation*

mSv – miliSievert

mTC – iTC móvel

ROI – *Region of Interest*

PACS – *Picture Archiving and Communication System*

PEEK – Poliéter-éter-cetona

PLIF – *Posterior Lumbar Interbody Fusion*

RC – Radiologia Convencional

rhBMP-2 – BMP recombinante humana tipo-2

RM – Ressonância Magnética

Si₃N₄ – Nitreto de silício

SiCaP – Silicato fosfato de cálcio

TC – Tomografia Computorizada

Ti – Titânio

TLIF – *Transforaminal Lumbar Interbody Fusion*

UCI – Unidade de Cuidados Intensivos

UH – Unidade de *Hounsfield*

VRT – *Volume Rendering Technique*

β -TCP – β -trifosfato de cálcio

σ – Desvio-padrão

Capítulo 1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

Cerca de 70% da população adulta nas sociedades industrializadas sofre de dor na coluna lombar (lombalgia) ao longo da sua vida. A lombalgia é uma das principais causas de limitação na realização de atividades diárias em indivíduos com menos de 45 anos e a segunda maior causa que necessita de observação médica.¹

Se a lombalgia for devida a instabilidade iatrogénica, estenose lombar, espondilolisteses degenerativa, escoliose, doença degenerativa do disco, síndrome facetário e pseudartrose, após a avaliação das limitações que esta provoca o tratamento mais comum é a artrodese lombar.^{1,2,3,4,5,6,7,8}

A artrodese lombar é um procedimento cirúrgico que consiste na fusão de uma articulação, neste caso de uma ou mais vértebras, tendo como objetivo o alívio da dor provocada pela patologia em questão.^{1,2,3,4,5,6,7,8} A fusão entre as vértebras ocorre através de excertos ósseos ou recorrendo a outros materiais, como ligas metálicas, polímeros, compósitos ou cerâmicos. De modo a ajudar no processo de fusão são também utilizados dispositivos de fixação como parafusos pediculares, hastes e barras.^{1,7,8}

Sendo um procedimento cada vez mais comum (entre 1978 e 1990, nos Estados Unidos da América, houve um aumento de 100% de intervenções⁷) foram introduzidos novos métodos de imagem intraoperatórios para que a colocação dos materiais de fixação fosse realizada de forma mais segura.^{1,8,9,10,11,12} A Tomografia Computorizada intraoperatória (iTTC), utilizada pela primeira vez em 1978 pelo M.N. Shalit em Tel Aviv¹³, permite uma orientação e localização mais precisas na maioria das cirurgias.¹⁴ Comparativamente com os intensificadores de imagem móveis, usualmente utilizados na maioria das cirurgias que necessitam de apoio imagiológico, além da sua precisão, na iTTC destaca-se a possibilidade de reconstruções multiplanares (*multiplanar reformation* –

MPR) (plano axial, coronal, sagital e oblíquos) e tridimensionais (*volume rendering technique* – VRT), permitindo verificar com maior segurança se alguma estrutura adjacente à coluna vertebral foi afetada pelo material de fixação utilizado na artrodese.¹⁵

1.2. Objetivos

O presente relatório tem origem no trabalho desempenhado na instituição Hospital da Luz como Técnico de Radiologia e tem como objetivo principal comparar o contributo da iTC versus intensificador de imagem móvel na monitorização da colocação dos dispositivos de fixação, avaliando a qualidade das imagens obtidas por ambas as tecnologias durante o procedimento cirúrgico assim como a dose de radiação a que os doentes estão sujeitos. O objetivo secundário é dar a conhecer os materiais utilizados na artrodese lombar, com maior ênfase nos dispositivos de fixação e materiais constituintes, dado que estes podem ser responsáveis por graves artefactos nas imagens obtidas por Tomografia Computorizada (TC).^{6,14,15,16,17} Outro objetivo secundário é a avaliação dos artefactos que os materiais usualmente utilizados para fixação na artrodese provocam nas imagens obtidas através da TC, sendo abordada a forma como estes podem ser atenuados.

1.3. Estrutura do relatório

O presente relatório está estruturado em oito capítulos. No *capítulo 2*, encontram-se descritas as metodologias de trabalho utilizadas para a elaboração do presente trabalho.

No *capítulo 3* será realizada uma breve abordagem à anatomia da coluna vertebral, assim como às principais funções que esta desempenha no corpo humano.

O *capítulo 4* tem como tema principal o procedimento cirúrgico denominado de artrodese lombar. Neste capítulo será feita uma abordagem epidemiológica da dor lombar, seguidamente de uma revisão histórica da artrodese lombar. Neste mesmo capítulo serão enumeradas as indicações para realização do procedimento cirúrgico em estudo. Por fim, serão descritos de forma sucinta os diferentes procedimentos cirúrgicos de realização da artrodese lombar.

No *capítulo 5* são abordados os diferentes dispositivos de fusão e dispositivos de fixação utilizados atualmente assim como o material que os constituem.

As técnicas de imagem utilizadas atualmente no bloco operatório surgem enumerados no *capítulo 6*. Neste capítulo são posteriormente descritos os dois métodos mais utilizados na artrodese lombar, o intensificador de imagem móvel e a iTC.

O *capítulo 7* consiste na análise dos dados recolhidos com o objetivo de comparar a utilização da iTC com a do intensificador de imagem móvel. Neste capítulo descreve-se também como se pode diminuir os artefactos presentes nas imagens de TC provocados pelos dispositivos de fixação.

Por último, surge o *capítulo 8* onde são descritas as conclusões que o presente trabalho permitiu obter.

Capítulo 2. Metodologia

Tendo em conta os objetivos propostos na *secção 1.2*, o presente trabalho que aqui se descreve foi realizado com base na observação direta, no âmbito da prática profissional do Técnico de Radiologia, da realização de artrodeses lombares assistidas por intensificador de imagem móvel (o equipamento mais utilizado neste tipo de intervenções) e iTC, de modo a conseguir recolher dados sobre como se realizava o procedimento cirúrgico com os diferentes equipamentos.

Da observação dos procedimentos cirúrgicos foi possível recolher dados sobre os valores de radiação a que os doentes estão sujeitos aquando da utilização do iTC Siemens SOMATOM Emotion 6 (Figura 1) e do intensificador de imagem móvel Siemens Arcadis Varic (Figura 2).



Figura 1 – iTC *sliding gantry*. Siemens SOMATOM Emotion 6



Figura 2 – Intensificador de Imagem. Siemens Arcadis Varic

O período de recolha de dados teve início em março e término a outubro de 2012. Neste período foi possível assistir (como observador e como Técnico de Radiologia) apenas a dez procedimentos de artrodese lombar, sendo que, só em quatro delas houve recurso à iTC. Devido ao reduzido número de procedimentos com utilização da iTC observados, foi necessário recorrer à base de dados do PACS (*Picture Archiving and Communication System*) do hospital de modo a recolher um maior volume de dados relacionados com a utilização da iTC na artrodese lombar. Assim, foram também recolhidos dados relativos a procedimentos realizados entre janeiro de 2010 e fevereiro de 2012 que tiveram apoio da iTC.

Durante a recolha de dados foi também recolhida informação sobre os critérios e fatores considerados pelos cirurgiões na tomada de decisão acerca da utilização da iTC ou do intensificador de imagem móvel para apoio à cirurgia, assim como as principais vantagens e desvantagens que a sua utilização das diferentes técnicas acarreta no procedimento e na eficácia da artrodese.

O tratamento de dados foi realizado através do *software* Microsoft Excel 2010, tendo sido utilizadas medidas de estatística descritiva de localização e dispersão.

Capítulo 3. Coluna vertebral

3.1. Revisão anatômica

A coluna vertebral é um dos constituintes do esqueleto axial, sendo constituído por cinco regiões – Cervical, Dorsal ou Torácica, Lombar, Sagrada e Coccígea (Figura 3). A coluna cervical é constituída por sete vértebras, a coluna dorsal por doze vértebras, a coluna lombar e a coluna sagrada por cinco vértebras e a coluna coccígea por três a cinco vértebras. Na coluna sagrada e coccígea as vértebras encontram-se fundidas. A coluna vertebral tem quatro curvaturas, a região cervical e lombar apresentam uma curvatura convexa enquanto a região dorsal e sacrococcígea apresentam curvatura côncava (Figura 3).^{18,19}

Localizado entre cada corpo vertebral existe uma estrutura fibrocartilaginosa denominada por disco intervertebral, que tem como função evitar o atrito entre dois corpos vertebrais adjacentes e oferece, também, um suporte adicional (Figura 4). O disco intervertebral é constituído pelo núcleo pulposo, de constituição gelatinosa, e perifericamente por um anel fibroso que por sua vez é constituído por várias camadas de tecido fibroso (Figura 5).^{18,19}

A coluna vertebral desempenha cinco funções essenciais para o corpo humano: (1) suporta o peso do crânio e tronco; (2) protege a espinal medula; (3) permite a saída dos nervos raquidianos provenientes da espinal medula através dos buracos de conjugação (Figura 4); (4) serve como local de inserção muscular; e (5) possibilita os movimentos da cabeça e tronco.^{18,19}

As vértebras variam a sua forma de região para região, contudo, de uma forma geral estas são constituídas pelo corpo vertebral, pelo arco vertebral, que se divide nos pedículos e lâminas, e pelas apófises transversas, espinhosa e articulares superiores e inferiores. O arco vertebral e a superfície posterior do corpo vertebral formam o buraco vertebral, que

em associação com os restantes buracos vertebrais formam o canal vertebral, que contém a espinal medula (Figura 6) e tem a função de a proteger.^{18,19}

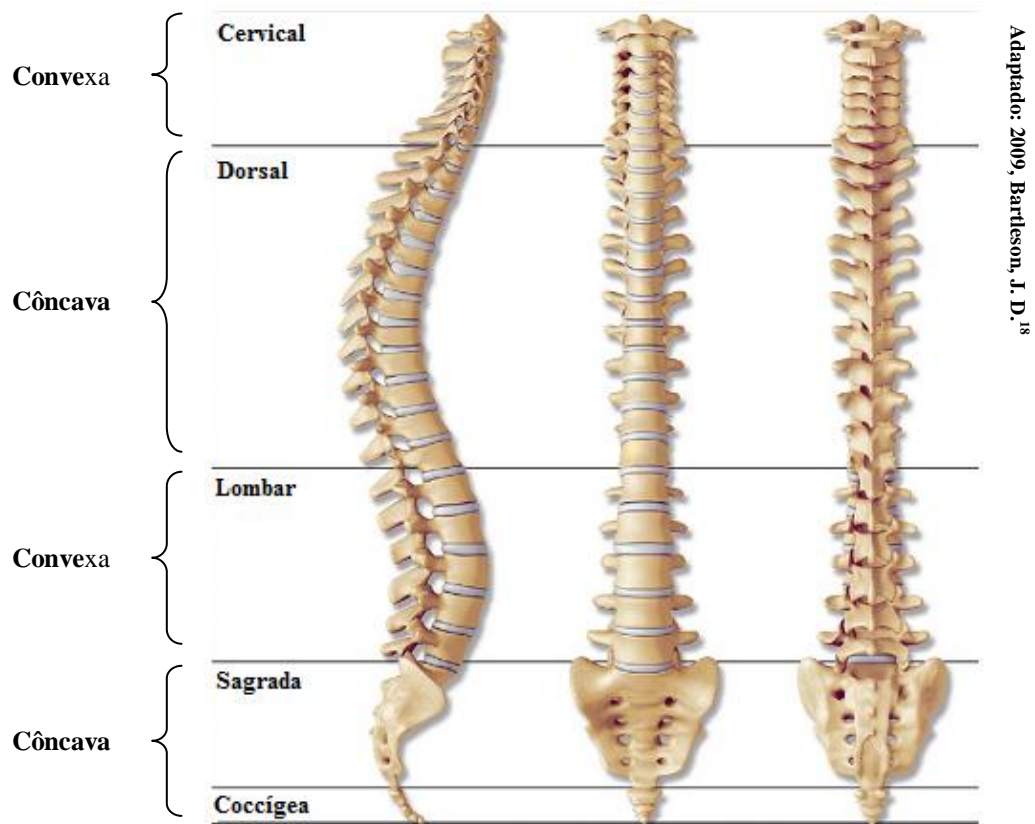


Figura 3 – Imagem lateral, anterior e posterior da coluna vertebral

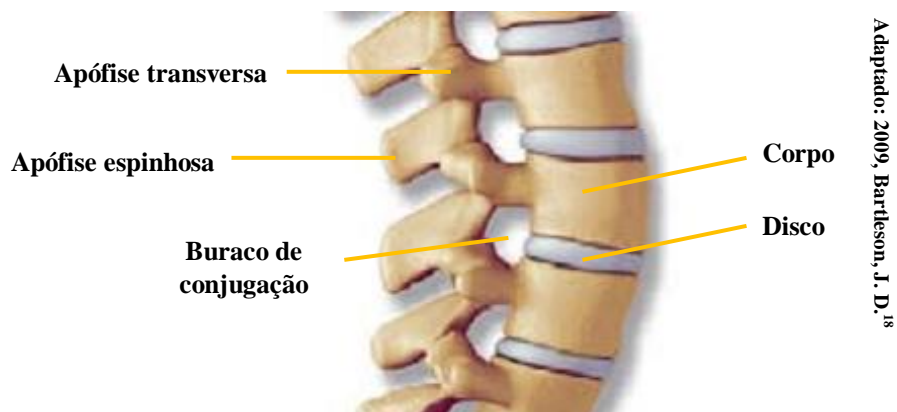


Figura 4 – Segmento da coluna vertebral

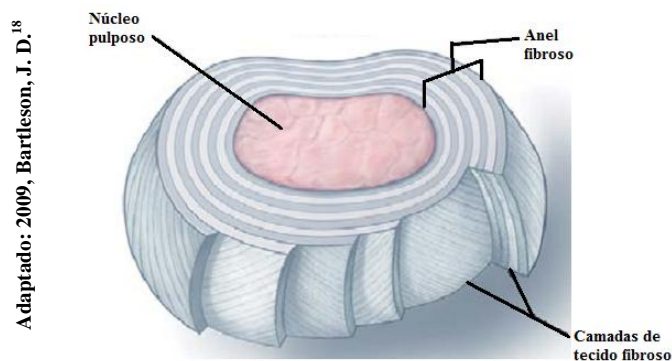


Figura 5 – Constituição do disco intervertebral

Adaptado: 2012, adanatomia.blogspot.pt

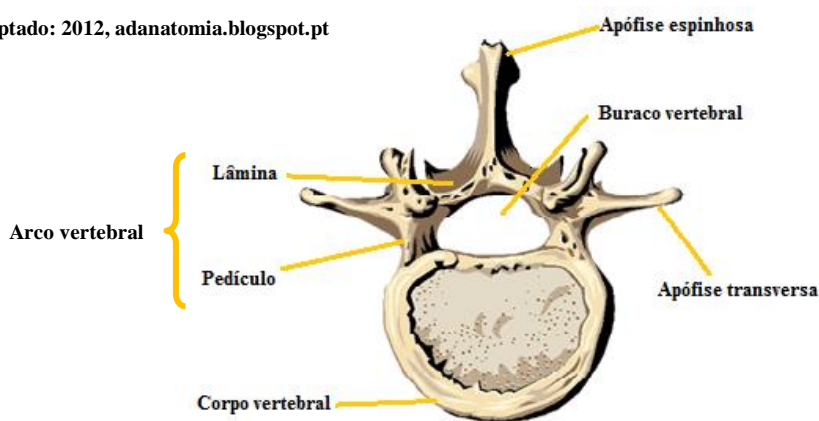


Figura 6 – Vista superior da representação de uma vértebra lombar

3.2. Coluna cervical

O segmento cervical da coluna vertebral é composto por sete vértebras. Estas possuem corpos de reduzidas dimensões, em comparação com as regiões dorsal e lombar. As apófises espinhosas têm uma forma parcialmente bífida (Figura 7), com exceção da sétima vertebra, e são as únicas que possuem buracos transversários na sua estrutura.^{18,19}

A anatomia das duas primeiras vértebras cervicais, atlas e eixo (Figura 8), é diferente das restantes. O atlas (Figura 9) é a primeira vértebra, não possui corpo, apresentando porém grandes superfícies articulares, as facetas articulares superiores, onde se dá a articulação com a base do crânio. A segunda vértebra, o eixo (Figura 7), apresenta na face superior do seu corpo, uma apófise denominada apófise odontóide, que se encontra inserida dentro do buraco vertebral.^{18,19}

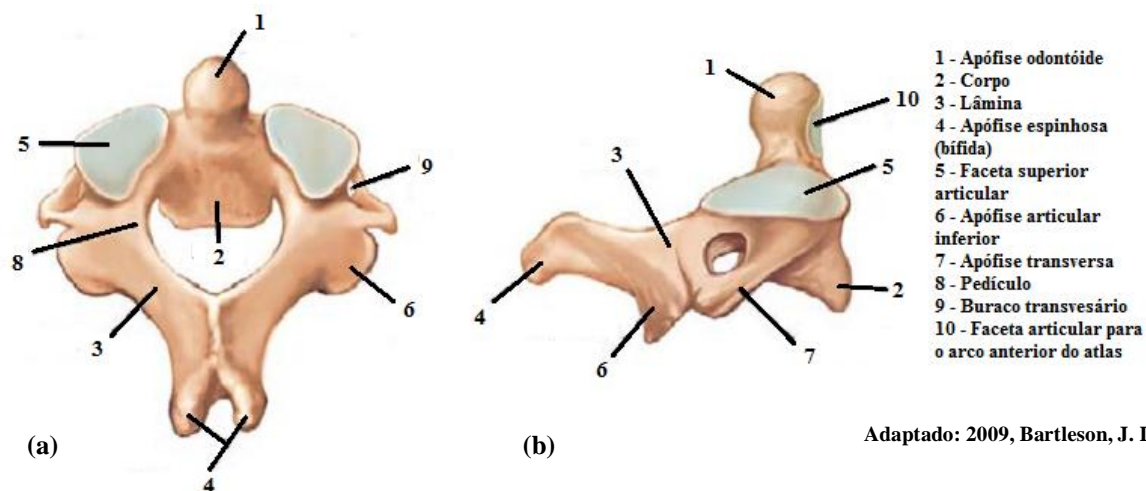


Figura 7 – Vista superior (a) e vista lateral (b) do eixo

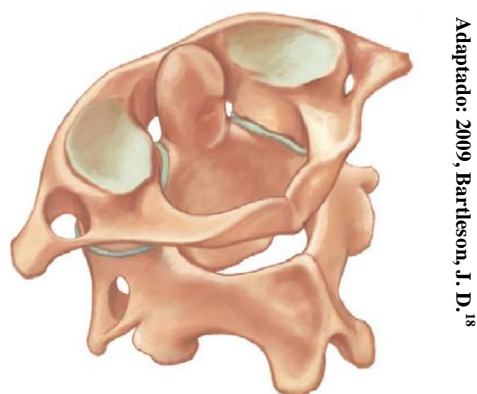


Figura 8 – Atlas e eixo

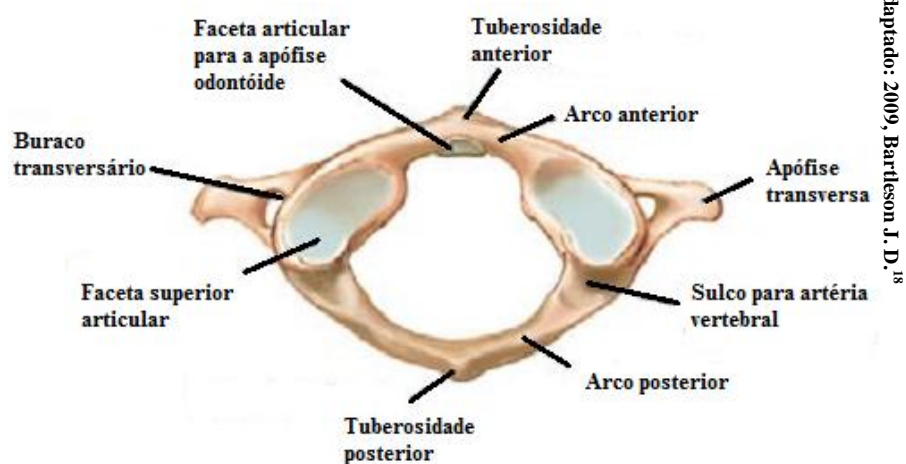


Figura 9 – Vista superior do atlas

3.3. Coluna dorsal

A coluna dorsal é composta por doze vértebras, sendo as suas apófises espinhosas longas e finas. As apófises transversas são relativamente compridas, em comparação com as restantes vértebras da coluna, e as primeiras dez apresentam facetas articulares nas quais ocorre a articulação com as tuberosidades das costelas (Figura 10).^{18,19}

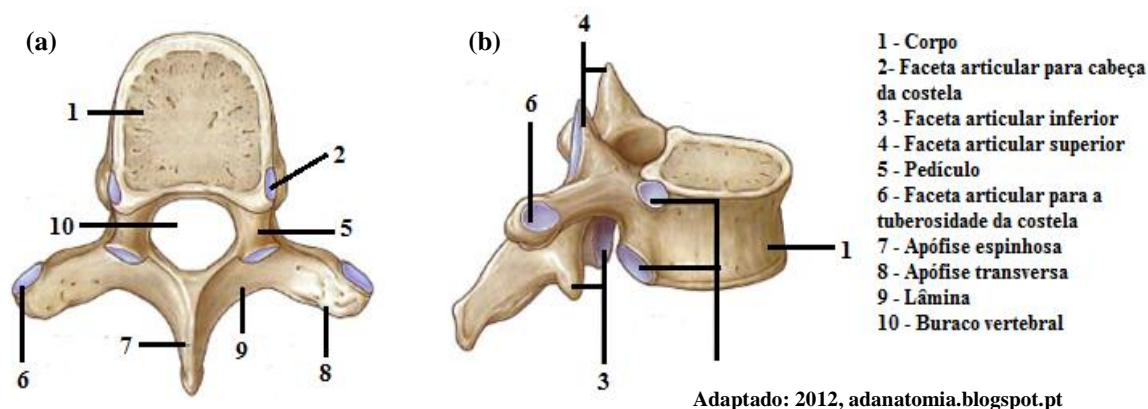


Figura 10 – Vista superior (a) e vista lateral (b) de uma vértebra dorsal

3.4. Coluna lombar

A coluna lombar é formada por cinco vértebras (Figura 11) possuindo estas, corpos largos e volumosos e apófises espinhosas e transversas com forma retangular (Figura 12). A forma das vértebras do segmento lombar deve-se a ser este o segmento mais sujeito ao peso do corpo.^{18,19}

A forma como se encontram dispostas as vértebras na coluna lombar é de extrema importância para o aumento da resistência mecânica da região inferior da coluna vertebral e limitação dos movimentos de rotação das vértebras lombares.^{18,19}

Adaptado: 2012, www.tratamentodecoluna.com.br

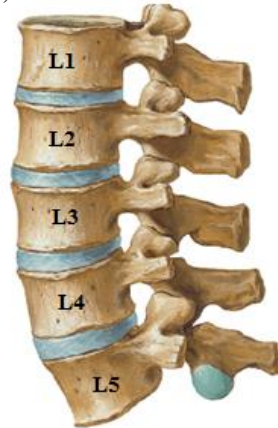
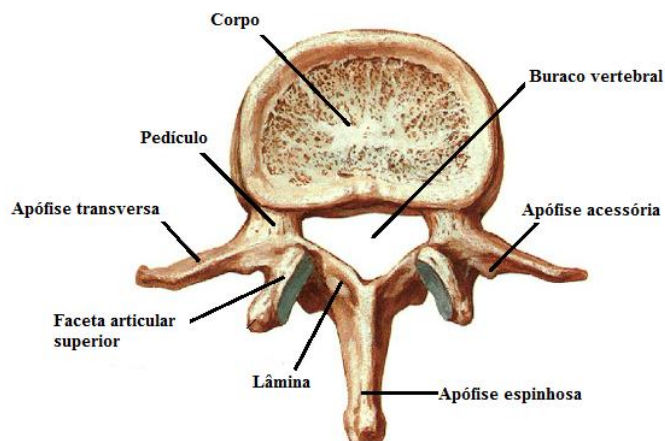


Figura 11 – Vista lateral da coluna lombar



Adaptado: 2012, www.fisioterapiacarolibeiro.com.br

Figura 12 – Vista superior de uma vértebra lombar

3.5. Coluna sagrada e coccígea

As vértebras sagradas e coccígeas têm uma anatomia completamente diferente das restantes vértebras, pois estas apresentam-se fundidas formando dois ossos únicos, o sacro e cóccix (Figura 13).^{18,19}

O sacro é formado por cinco vértebras fundidas. Neste, as apófises transversas encontram-se fundidas dando origem às asas do sacro onde o sacro se une aos ossos pélvicos. As primeiras quatro apófises espinhosas formam a crista sagrada, por sua vez a quinta apófise espinhosa, como não se forma, cria o hiato sagrado. Os buracos de conjugação dividem-se em anteriores e posteriores e são denominados por buracos sagrados. O bordo anterior da primeira vértebra apresenta uma saliência denominada promontório sagrado.^{18,19}

O cóccix é constituído por três a cinco vértebras fundidas com forma triangular. Estas são de tamanho reduzido quando comparadas com as restantes vértebras e não possuem nem buracos nem apófises desenvolvidas.^{18,19}

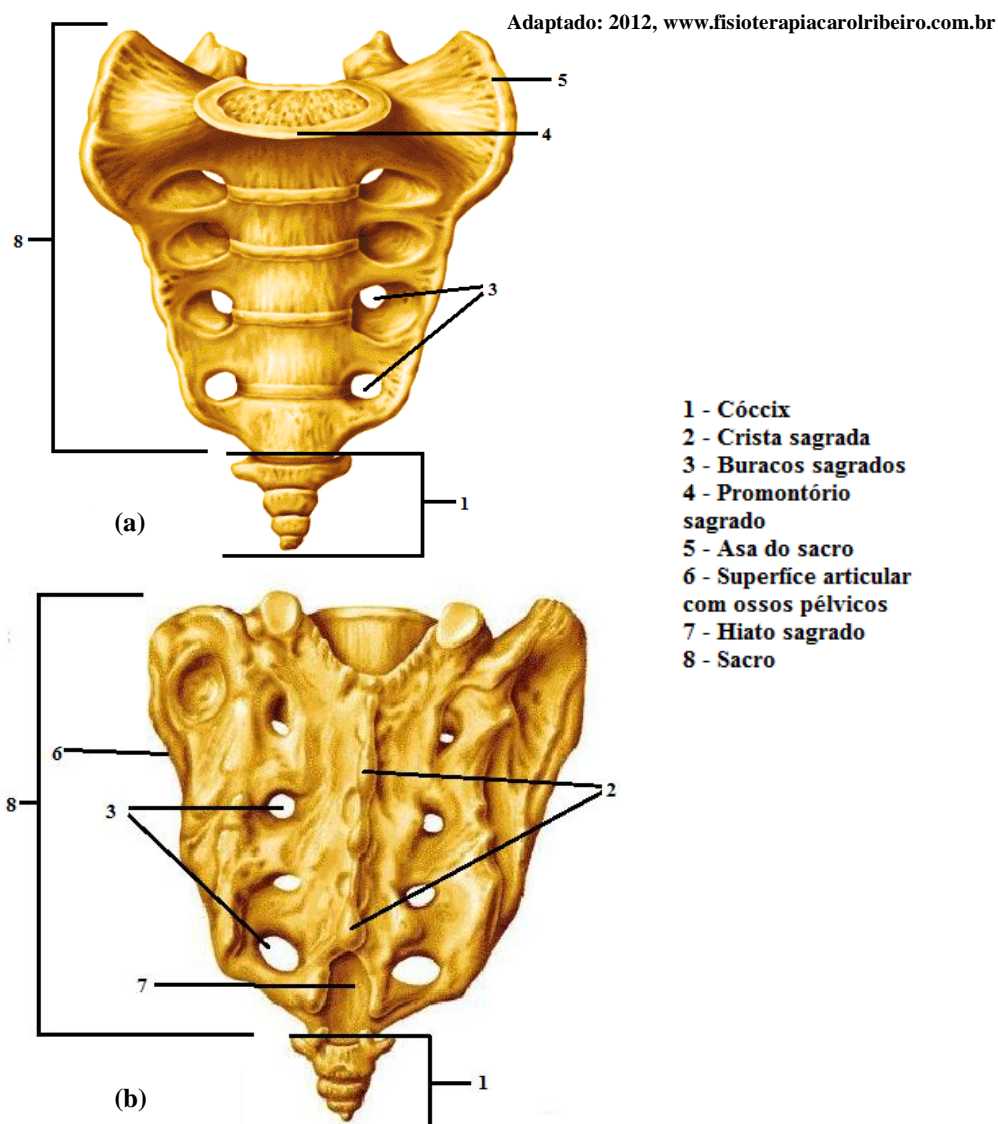


Figura 13 – Vista anterior (a) e posterior (b) do sacro e cóccix

Capítulo 4. Artrodese lombar

A artrodese é um procedimento cirúrgico utilizado para o tratamento de articulações dolorosas em Ortopedia, que consiste na fusão da articulação em questão. No caso específico, a artrodese lombar consiste na fusão de uma ou mais vértebras, tendo como objetivo reduzir ou até eliminar a dor existente na coluna lombar.^{1,2,3,4,5,6,7,8}

A artrodese lombar, usualmente realizada por Neurocirurgiões, foi descrita pela primeira vez, em 1911, por Fred Albee e Russel Hibb no tratamento da tuberculose vertebral, também conhecida por doença de Pott.^{1,2,3,8,20}

Para auxiliar a fusão entre as vértebras, os cirurgiões recorrem a excertos ósseos ou a outros materiais, como ligas metálicas, polímeros, compósitos ou cerâmicos.^{1,7,8,21} De modo a estabilizar o processo de fusão são também utilizados dispositivos de fixação como parafusos pediculares, hastes e barras^{1,7,8,21}, como poderemos ver mais à frente no presente trabalho.

Com a evolução a nível da técnica cirúrgica, dos materiais de fusão e dos dispositivos de fixação utilizados, assim como com os avanços a nível imagiológico (principalmente a nível de TC e Ressonância Magnética (RM)), a artrodese lombar viu a sua área de aplicação alargada, isto é, começou a ser realizada no tratamento de doença degenerativa vertebral, deformação vertebral, tumores, lesões infecciosas e traumáticas.^{1,2,3,4,5,6,7,8,20}

A escolha dos materiais e da técnica cirúrgica, que serão descritos ainda neste capítulo, depende de vários fatores como a situação clínica, os níveis vertebrais a ser operados e a experiência do cirurgião.⁸

4.1. Epidemiologia da dor lombar

Como foi dito na *secção 1.1*, cerca de 70% da população adulta nas sociedades industrializadas sofre de lombalgias ao longo da sua vida.¹ Segundo vários relatórios internacionais entre 15% e 30% da população estudantil já apresentou queixas na coluna

lombar.¹⁸ Devido a isso, a dor lombar surge como uma das causas mais frequentes de limitação em atividades diárias em pessoas entre os 45 e 65 anos de idade^{1,3}, surgindo na mesma proporção independentemente do género.¹⁸

A lombalgia, segundo Bartleson *et al*, começa a manifestar-se na adolescência, aumentando a sua intensidade e a frequência com que se manifesta.¹⁸

Vários fatores têm sido apontados como possíveis responsáveis para o aparecimento da dor lombar. Em crianças e adolescentes, a predisposição genética, o nível socioeconómico familiar, a prática de atividade desportiva e o desenvolvimento rápido são apontados como fatores de risco. Em adultos, fatores como histórico de lombalgias na adolescência, baixo estatuto socioeconómico, o nível de escolaridade, a condição física e a prática de determinadas atividades físicas maioritariamente experienciadas na atividade profissional, podem levar a que, numa fase adulta, o doente veja a sua atividade diária limitada. Outros fatores como depressão, obesidade, tabagismo e algumas anomalias congénitas da coluna vertebral também poderão estar na origem do aparecimento da dor.¹⁸

É de salientar que a patologia associada à dor lombar é, geralmente, benigna, levando a que a situação seja controlável com tratamentos não cirúrgicos, como por exemplo fisioterapia e farmacoterapia. Porém, se a lombalgia não apresentar melhorias com esse tipo de tratamento, o doente poderá ser sujeito a tratamentos invasivos, inserindo-se aqui a artrodese lombar.^{1,3}

4.2. Indicações para artrodese lombar

Por definição, lombalgia é um conjunto de manifestações dolorosas que um doente sente na coluna lombar.¹⁸ Se após um tratamento não invasivo a dor persistir, e se esta for devida a instabilidade iatrogénica, estenose lombar, espondilolisteses degenerativa, escoliose, doença degenerativa do disco, síndrome facetário e pseudartrose, a artrodese lombar é o tratamento mais comum.^{1,2,3,4,5,6,7,8} A dor com origem tumoral, infecciosa e traumática também poderá ser aliviada recorrendo a este procedimento cirúrgico.^{21,22,23}

4.3. Técnicas cirúrgicas

Qualquer abordagem cirúrgica realizada para alcançar a fusão vertebral acarreta o risco de não atingir os objetivos pretendidos, sendo no caso da artrodese lombar, o alívio

da dor.²⁴ O sucesso do procedimento encontra-se dependente fundamentalmente de fatores como a experiência do cirurgião, o planeamento pré-operatório e o estilo de vida do doente.²⁴

Assim há que salientar que a artrodese lombar pode ser realizada segundo diferentes abordagens cirúrgicas, sendo as mais usuais a artrodese lombar anterior, artrodese lombar posterior e artrodese lombar transforaminal.^{1,3,8,20,24,25} Na literatura existe referência a uma outra abordagem, a artrodese lombar postolaretal, contudo, devido à sua taxa elevada de pseudoartrodese, a sua utilização é rara.¹

4.3.1. Artrodese lombar anterior

A utilização da artrodese lombar com abordagem anterior (*anterior lumbar interbody fusion* – ALIF) foi relatada pela primeira vez em 1956 por Hodgson e Stock.¹ Inicialmente, este procedimento não foi muito utilizado devido à baixa taxa de fusão que apresentava (30% a 40%). Contudo, com o aparecimento das *cages* (gaiolas) em ligas de titânio (Ti) nos anos 90, que permitem uma melhor sustentação do espaço do disco e consequentemente uma melhor fusão, a sua popularidade aumentou.²⁴

A ALIF é realizada através de uma abordagem retroperitoneal, onde é realizada uma incisão paramediana na cavidade abdominal (Figura 14). Realizada a incisão, os músculos abdominais e o peritoneu são retraídos conseguindo assim o cirurgião acesso à coluna vertebral. Este primeiro processo é efetuado usualmente por um cirurgião geral ou vascular.^{3,24} O disco degenerado é parcialmente removido (Figura 15 (a)) e no seu lugar é inserido uma *cage* em conjunto com enxerto ósseo (Figura 15 (b)) que permite o alinhamento dos corpos vertebrais e a diminuição da pressão sobre as raízes nervosas. Parte da parede do disco é mantida de modo a evitar o extravasamento de enxerto ósseo (Figura 15 (c)). Com o evoluir do tempo o enxerto ósseo cresce através da *cage* formando “pontes” ósseas que originarão a fusão vertebral (Figura 15 (d)).²⁴

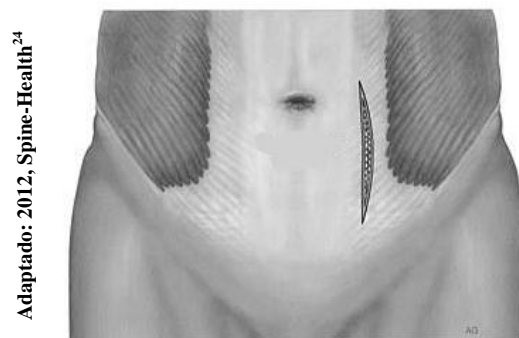


Figura 14 – Incisão paramediana abdominal para a realização de ALIF

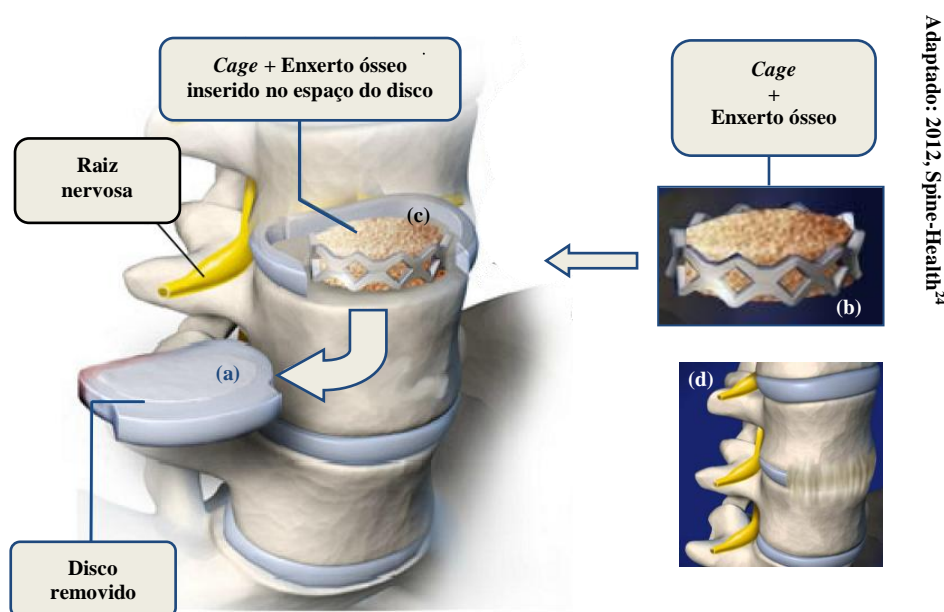


Figura 15 – Ilustração esquemática da ALIF

Nos casos em que a instabilidade vertebral é reduzida, como em doentes com doença degenerativa do disco, a realização da ALIF pode ser adequada. Contudo noutras situações, esta abordagem é combinada com uma abordagem posterior devido à necessidade de utilização de dispositivos de fixação.^{3, 24}

As vantagens da utilização da ALIF em relação às outras abordagens são a melhor fusão devido às *cages* serem colocadas entre os bordos anteriores dos corpos vertebrais e manter intatos os músculos, ligamentos e nervos posterior da coluna.²⁴

Os riscos desta abordagem prendem-se ao facto do procedimento ser realizado próximo dos grandes vasos abdominais podendo originar grandes perdas de sangue e, quando este é realizado a nível da transição lombossagrada em doentes do sexo masculino existe a possibilidade de causar ejaculação retrógrada e esterilidade.^{1,24}

4.3.2. Artrodese lombar posterior

Sendo atualmente o procedimento mais utilizado, a artrodese lombar com abordagem posterior (*posterior lumbar interbody fusion* – PLIF) foi descrita pela primeira vez em 1946 por Jaslow.¹

A PLIF consiste numa abordagem posterior da coluna lombar.^{1,8,25,26} Inicialmente é realizada uma incisão na linha média do dorso (Figura 16), sendo de seguida retraídos os músculos eretores da espinha de modo a que as lâminas das vértebras fiquem expostas. Concluído este processo, é realizada uma laminectomia bilateral (Figura 17 (a)), ou seja são removidas as lâminas das vértebras, permitindo a visualização e retração das raízes nervosas. Estando retraídas as raízes nervosas (Figura 17 (b)), procede-se à discectomia e consequente inserção da *cage* e enxerto ósseo que preenche o espaço vertebral (Figura 17 (c)). No fim, são colocados parafusos pediculares, hastes ou placas envolvidos em material ósseo (Figura 17 (d)) de modo a promover uma melhor fusão.^{8,26}



Figura 16 – Incisão na linha média do dorso para realização de PLIF

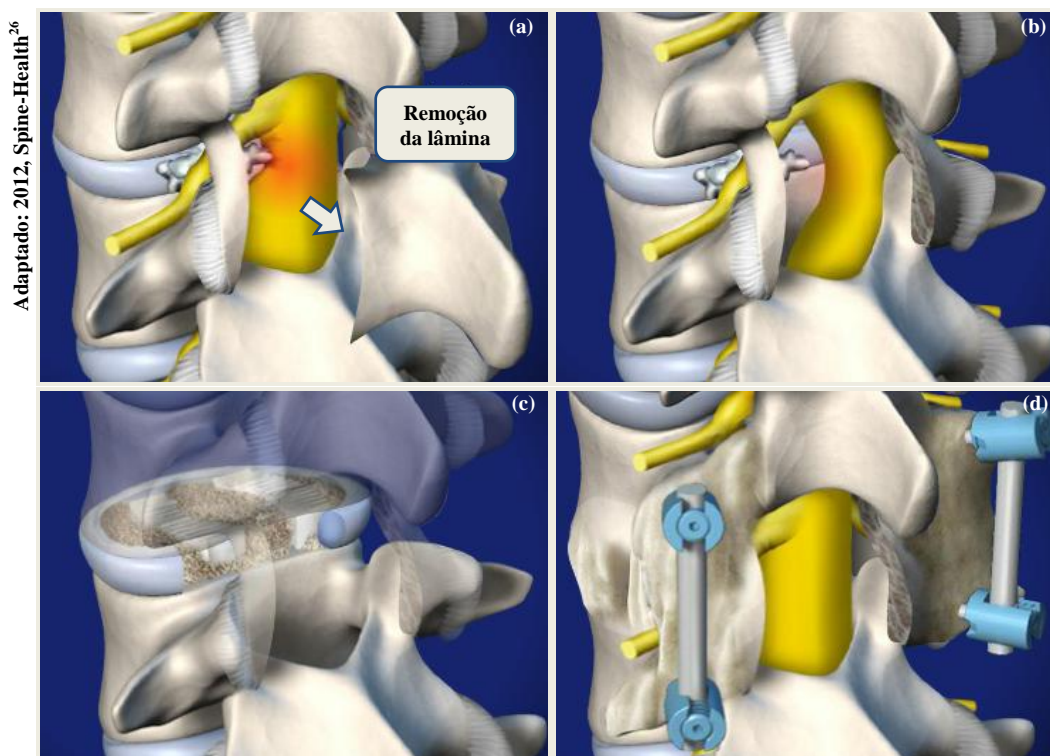


Figura 17 – Ilustração sequencial da PLIF. (a) Laminectomia; (b) Retração das raízes nervosas; (c) Inserção da cage e enxerto ósseo; (d) Fixação de parafusos pediculares e de hastes com material ósseo

A PLIF em comparação com outras abordagens apresenta uma maior taxa de fusão e menos complicações^{1,26}, porém acarreta certas desvantagens e limitações.

A impossibilidade de remover uma grande quantidade do disco tem como consequência a existência de uma menor área de fusão. A utilização desta abordagem torna mais difícil a correção de deformidades vertebrais e, apesar de remota, existe a possibilidade da cage migrar para o canal vertebral provocando compressão da espinal medula.²⁶

4.3.3. Artrodese lombar transforaminal

A artrodese lombar transforaminal (*transforaminal lumbar interbody fusion – TLIF*) é uma abordagem muito semelhante à PLIF, porém a incisão é realizada num eixo mais lateral do dorso, o que consequentemente implica que as estruturas ósseas na linha média continuem intactas minimizando assim a possibilidade de lesões na espinal medula.^{8,27,28}

A TLIF inicia-se com incisão no dorso (Figura 18), de seguida são removidas partes da vértebra (Figura 19 (a)) de modo a que o bordo lateral do disco vertebral fique exposto e

sejam removidas as partes danificadas. Como nas outras abordagens, o espaço vertebral é preenchido lateralmente com uma *cage* e enxerto ósseo (Figura 19 (b)). No final, são inseridos parafusos pediculares ligados por hastes ou placas e envolvidos em material ósseo (Figura 19 (c)) promovendo assim uma melhor e estável fusão. Esta abordagem, por ser realizada de forma lateral, diminui os riscos de lesões neurológicas pois não apresenta a necessidade de retrair as raízes nervosas.^{8,27}

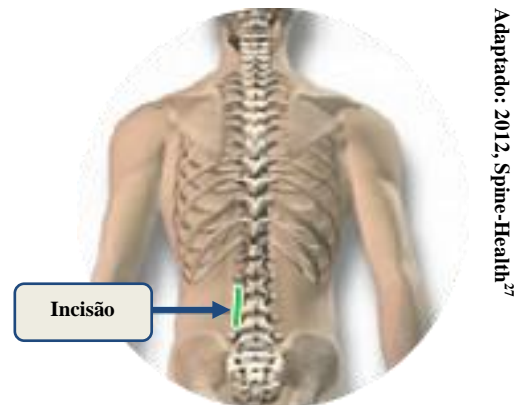


Figura 18 – Localização da incisão no dorso para realização de TLIF

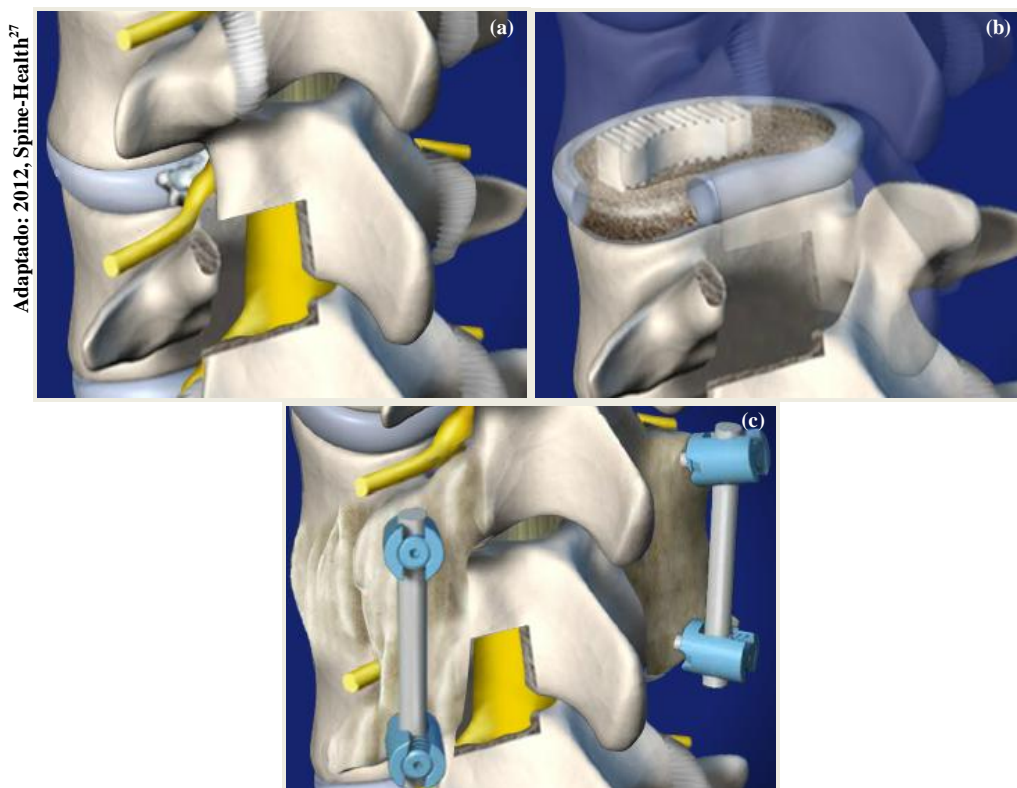


Figura 19 – Ilustração sequencial da TLIF. (a) Remoção da face lateral da vértebra; (b) Inserção da *cage* e enxerto ósseo; (c) Dispositivos de fixação com material ósseo

Capítulo 5. Materiais utilizados na artrodese lombar

Entre os fatores (Tabela 1) que influenciam o sucesso da artrodese, ou seja a efetiva fusão das vértebras lombares, destaca-se o material utilizado.⁷

Apesar dos vários avanços a nível da instrumentação para a coluna vertebral, alcançar uma habilidade biológica capaz de atingir uma consolidação óssea 100% eficaz entre os segmentos vertebrais continua a ser um desafio.^{7,8}

Atualmente, os materiais que constituem os dispositivos utilizados na artrodese podem ter origem biológica ou serem compostos por substitutos ósseos biológicos ou sintéticos. Também poderão ser constituídos por materiais metálicos, poliméricos ou cerâmicos.^{7,10,11,29,30,31,32}

Na artrodese lombar, dispositivos de fixação também podem ser utilizados para auxiliar a fusão e principalmente na estabilização vertebral.⁸

Tabela 1 – Fatores que influenciam a cicatrização óssea

Biológicos	Mecânicos	Fatores sistémicos
Preparação do local que recebe o enxerto	Estabilidade biomecânica	Nutrição
Vascularização dos tecidos	Carga biomecânica	Hormonas e fatores de crescimento
Tipo de material de enxerto de osso		Osteoporose
Doença óssea local		Infeções
Radiação		Tabagismo
		Outros

Adaptado: 2000, Marchesi, D. G.⁷

5.1. Dispositivos de fusão biológicos

A fusão óssea entre segmentos vertebrais é afetada por três processos biológicos importantes, pois sem eles a fusão não terá o sucesso desejado. Estes três processos são a osteoindução, a osteocondução e o potencial osteogénico.^{7,10,33,34}

A osteoindução é a capacidade de diferenciação de células estaminais num determinado tipo de célula osteogénica. A osteocondução é a capacidade de proporcionar um *scaffold* (armação) para suportar e conduzir à formação óssea. E por sua vez, o potencial osteogénico é a capacidade de proporcionar células que são, ou podem eventualmente ser, capazes de formar osso.⁷

Estas características são encontradas na íntegra nos materiais biológicos. Estes podem ser denominados como autoenxertos, se a sua origem for o próprio indivíduo, ou aloenxerto, se a sua origem for outro indivíduo.^{7,29,30,33}

Os autoenxertos, por apresentar os três processos biológicos acima referidos, são o *gold standard* dos materiais utilizados na fusão lombar. O autoenxerto é geralmente obtido a partir da crista ilíaca do doente, sendo este constituído essencialmente por osso esponjoso devido ao seu potencial osteogénico.^{7,30,33}

O uso de autoenxerto possui a vantagem de não haver qualquer patologia infecciosa ou patogénica associada, diminuindo assim o risco de infeção e rejeição para o doente. Contudo, o uso deste material acarreta diversas desvantagens. A elevada taxa de pseudoartrose, assim como a dor crónica, possíveis fraturas, lesão neurológica e infecciosa no local de doação e perda de elevadas quantidades de sangue durante a remoção do enxerto são as mais usuais complicações da utilização de autoenxerto.^{7,30,33}

Outros problemas surgem ao recorrer a este tipo de enxerto se a cirurgia for realizada numa população idosa, pois devido à sua avançada idade, a maioria da população que se insere nesta faixa etária apresenta osteoporose, o que provoca uma elevada morbilidade pós-operatória nos doentes.³³

Os aloenxertos são, pelas suas características, os substitutos naturais dos autoenxertos porém apresentam um potencial osteogénico reduzido, dado que as células não sobrevivem ao transplante. Os enxertos são maioritariamente obtidos das cabeças femorais removidas na artroplastia total da anca, sendo depois posteriormente moldados em forma de anel (Figura 20 e Figura 21).^{7,11,30,33}

Após obter os enxertos estes são conservados, usualmente, através de processos de congelação e liofilização até ao dia da sua utilização. Contudo, estes processos diminuem as propriedades biológicas, o que reduz as suas capacidades de fusão. Esta redução de propriedades leva a que o risco de disseminação de infeções seja maior, sendo esta a principal desvantagem do uso de aloenxertos.^{7,30,33}

Vários estudos têm sido realizados de modo a comparar resultados da utilização de autoenxertos e aloenxertos, tendo estes demonstrado que o uso de autoenxertos apresenta melhores resultados a nível de fusão.³⁰

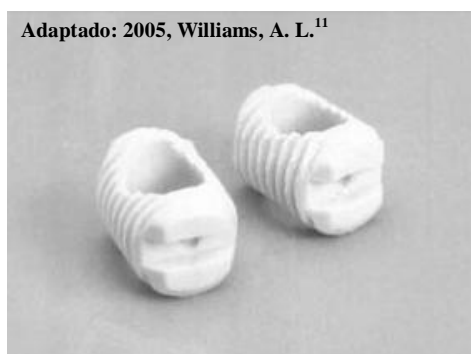


Figura 20 – Dispositivo de fusão biológico (aloenxerto). Medtronic Sofamor Danck - Bone Dowels

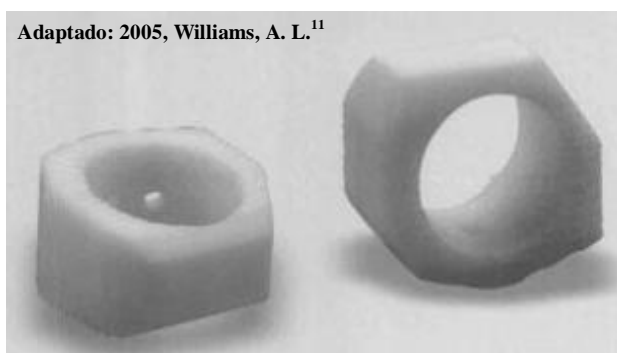


Figura 21 – Dispositivo de fusão biológico (aloenxerto). Medtronic Sofamor Danck - Femoral Rings

5.2. Substitutos ósseos

Com os problemas inerentes à utilização dos auto- e aloenxertos, o interesse na síntese de materiais biodegradáveis e osteocondutores tem vindo a aumentar de modo a que possam estar disponíveis em quantidades suficientes e a custos reduzidos. O interesse

na produção de materiais com estas características prende-se também com a necessidade de diminuir os riscos de complicações e infeções para o doente.⁷

Todos os materiais utilizados como substitutos ósseos, sejam eles de origem biológica ou sintética, devem ter certas propriedades tais como, biocompatibilidade com os tecidos circundantes, estabilidade química, propriedades mecânicas e físicas semelhantes aos tecidos biológicos, capacidade de ser moldados em formas funcionais e a sua estabilidade quando sujeito aos processos de esterilização.⁷

A matriz óssea desmineralizada (*Demineralized Bone Matrix – DBM*), um dos substitutos ósseos existentes, foi descrita e caracterizada pela primeira vez por Urist *et al* e mais tarde modificada por Reddi e Huggins. Esta é obtida da extração da fase mineralizada do osso através da imersão de partículas de osso com dimensões entre 74 e 420 μm numa solução ácida de ácido clorídrico (HCl) durante cerca de três horas. Atualmente, e apesar dos processos iniciais serem iguais, a utilização de diferentes aditivos e técnicas de preparação faz com que existam mais de quarenta preparações diferentes no mercado com diferente potencial de osteoindutividade. A DBM tem a vantagem de ser um excelente *scaffold* devido à rápida revascularização que vários estudos têm apresentado.^{10,33}

Outro substituto ósseo e introduzido por Urist *et al* em 1965 é a proteína morfogénica óssea (*Bone Morphogenic Protein – BMP*) sendo esta extraída de células de osteossarcomas. Atualmente e após vários desenvolvimentos o material utilizado é BMP recombinante humana tipo-2 (rhBMP-2) com colagénio, comercialmente conhecido por *InFuse Bone Graft* (Figura 22), que apresenta resultados de fusão superiores aos autoenxertos. Porém, a sua utilização, segundo a *Food and Drug Administration* (FDA), é só permitida em conjunto com o dispositivo metálico LT-CAGE (Figura 22).^{7,10,31,33,35}

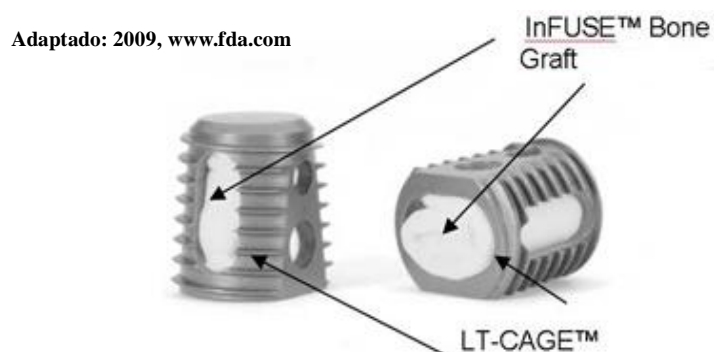


Figura 22 – *InFuse Bone Graft* (rhBMP-2) inserido numa LT-CAGE

No grupo dos substitutos ósseos encontram-se inseridos alguns materiais cerâmicos. Deste grupo devido às suas propriedades osteocondutoras e pelo elevado grau de biocompatibilidade com os tecidos vivos fazem parte a hidroxiapatite (HA), o β -trifosfato de cálcio (β -TCP) e mais recentemente o silicato fosfato de cálcio (SiCaP). Além disso, a porosidade que estes cerâmicos apresentam pode ser criada artificialmente podendo funcionar como *scaffold* na formação de novo osso e revascularização dos tecidos.^{7,10,33,36}

5.3. Dispositivos de fusão metálicos

Vários dispositivos metálicos foram desenvolvidos e utilizados ao longo dos anos, entre estes destaca-se o LT-Cage (Figura 22 e Figura 23), atualmente o mais utilizado na fusão intervertebral.

O LT-Cage é um dispositivo de terceira geração constituído por ligas de Ti e apresenta uma forma trapezoidal o que promove um excelente desenvolvimento de novo tecido ósseo e uma consequente fusão vertebral. A sua forma permite e facilita o reaparecimento da lordose natural que a coluna lombar apresenta.¹¹

Este dispositivo, assim como outros dispositivos metálicos existentes mas menos utilizados, tem a grande vantagem quando comparado com auto- e aloenxertos ósseos de não necessitar de extração de enxerto ósseo evitando as complicações relacionadas com este procedimento e de serem menos suscetíveis à propagação de doenças e infeções. Por sua vez, apresenta a limitação de só poder ser inserido pela superfície anterior dos corpos vertebrais.¹¹



Figura 23 – Dispositivo de fusão metálico. LT CAGE

5.4. Dispositivos de fusão poliméricos

Devido aos artefactos que os dispositivos metálicos provocam nas imagens de RM e TC, têm sido desenvolvidos dispositivos de fusão constituídos por materiais não metálicos.
36,37

O material mais utilizado é o poli-eter-eter-cetona (PEEK) que é o constituinte da PEEK Cage (Figura 24). Este material é caracterizado por ter propriedades biomecânicas semelhantes ao osso cortical e por poder ser moldado de acordo com a necessidade do cirurgião.^{11,32}

O PEEK Cage tem a grande vantagem de ser radiotransparente nas imagens de TC e radiografias. Para que seja possível a verificação da sua posição nos espaços intervertebrais, foram introduzidos marcadores metálicos na sua estrutura^{11,32}, como é observado na Figura 25, onde é apresentada uma radiografia de perfil da coluna lombossagrada realizada para avaliação pós-cirúrgica.

Fonte: 2012, www.pmddobrasil.com.br



Figura 24 – Dispositivo de fusão polimérico. PEEK Cage

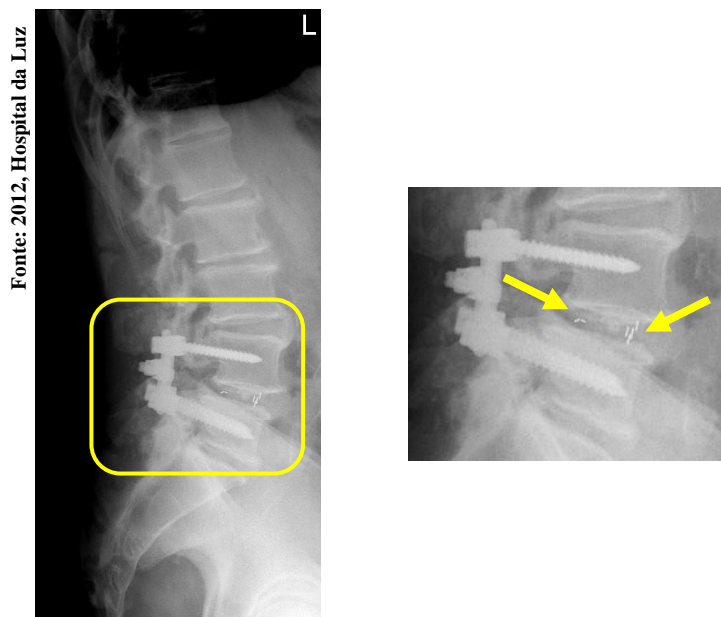


Figura 25 – Radiografia de perfil da coluna lombossagrada. Marcadores metálicos (setas brancas)

5.5. Dispositivos de fusão cerâmicos

Recentemente surgiram novos dispositivos de fusão vertebral, sendo estes constituídos por um material cerâmico, o nitreto de silício (Si_3N_4). Este biomaterial não deve ser considerado um substituto ósseo, como os cerâmicos referidos na *seção 5.2*, pois apenas é utilizado na produção de dispositivos que tenham a mesma função que os dispositivos de fusão metálicos e poliméricos, ou seja, com capacidade de restabelecer a biomecânica da coluna vertebral através da fusão.³⁸

Os excelentes resultados que o Si_3N_4 demonstrou em elevadas condições de carga, por exemplo nos motores a jato e carros de corrida, levaram a que a empresa Amedica apostasse na sua utilização em dispositivos de fusão intervertebral (Figura 26). Os dispositivos de Si_3N_4 , um material denso e hidrofílico, quando submetidos a elevados estados de compressão mostram-se altamente resistentes, oferecendo assim, propriedades essenciais para o processo de fusão e restauro das características naturais da coluna.³⁸

Comparativamente com os dispositivos constituídos por ligas de Ti e PEEK, os dispositivos de Si_3N_4 apresentam uma capacidade de osteointegração superior e um menor risco de infecção. A nível imagiológico, as suas propriedades permitem uma visualização mais precisa da sua posição e produzem menos artefactos nas imagens de TC e RM.^{39,40}

Fonte: 2012, Amedica³⁸



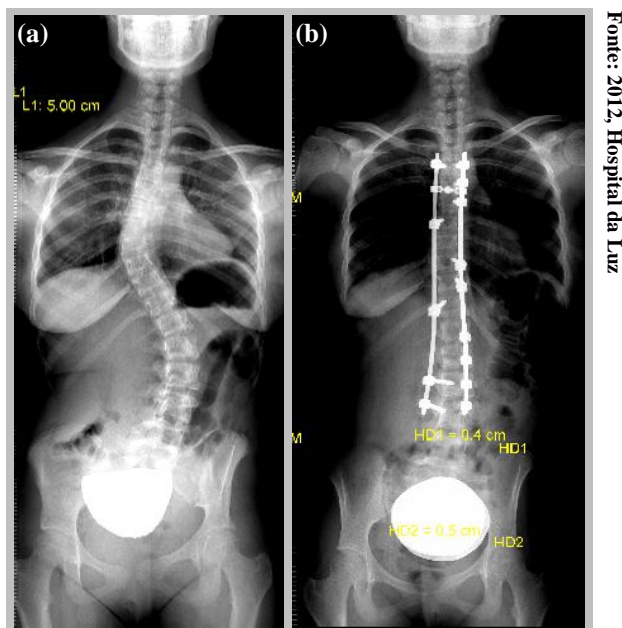
Figura 26 – Dispositivo de fusão cerâmico de Si_3N_4 . Amedica - Valeo® PL

5.6. Dispositivos de fixação

A utilização de dispositivos de fixação no auxílio da fusão vertebral tornou-se um procedimento *gold standard*, permitindo uma mais eficaz correção de deformidades e fraturas, assim como proporcionando uma maior estabilização e resistência à coluna.^{21,22,41,42}

A primeira aplicação de parafusos pediculares foi realizada por Raymond Roy-Camille em 1963.^{22,42}

Na Figura 27 (a) observa-se uma radiografia ântero-posterior (AP) extralongo da coluna vertebral onde se vislumbra uma acentuada escoliose lombar, por sua vez na Figura 27 (b) observa-se uma radiografia AP extralongo da coluna vertebral do mesmo doente após correção cirúrgica. Nesta mesma figura pode observar-se a importância dos dispositivos de fixação na estabilização da coluna no período após realização da artrodese.



Fonte: 2012, Hospital da Luz

Figura 27 – Radiografia AP extralongo da coluna vertebral antes (a) e após (b) aplicação de parafusos pediculares e barras

De entre os dispositivos de fixação destacam-se os parafusos pediculares, barras, placas (Figura 28, Figura 29 e Figura 30). Os primeiros dispositivos a ser utilizados foram os parafusos e o arame.^{8,21,43}



Fonte: 2007, Rutherford, E. E.⁸

Figura 28 – Parafuso pedicular e barras. ISOLA

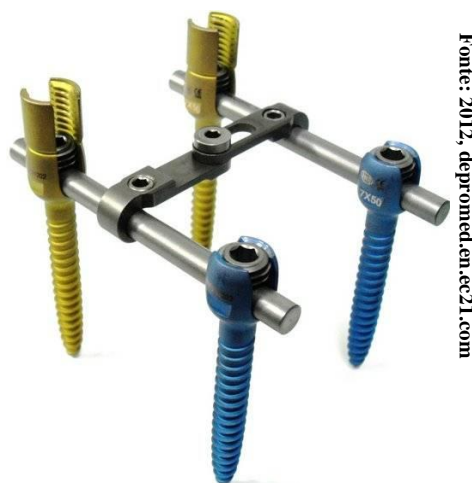


Figura 29 – Parafusos pediculares e barras de ligas de Ti. INFINA Spinal System

Fonte: 2007, Rutherford, E. E.⁸



Figura 30 – Placa e parafusos pediculares. Steffee

Inicialmente, os dispositivos de fixação eram constituídos por aço, contudo e devido à grande intensidade de artefactos que estes causavam nas imagens de TC e à sua incompatibilidade com a RM, foram desenvolvidos dispositivos constituídos por ligas de Ti, permitindo estes a realização de exames de RM sem que houvesse riscos para os doentes.^{8,16,41}

Outros materiais, como por exemplo liga de cobalto-crómio-molibdénio, também foram estudados na produção de dispositivos de fixação, porém a sua utilização é reduzida devido ao seu custo e ao facto de não apresentarem vantagens significativas sobre os dispositivos de ligas de Ti.⁴¹ Atualmente, já se encontram em utilização barras constituídas por PEEK (Figura 31). Estas apresentam semelhante resistência mecânica do que as barras constituídas por ligas de Ti, contudo são mais flexíveis.⁴³

Fonte: 2007, www.medtronic.com



Figura 31 – Parafusos pediculares conectados por barra constituída por PEEK. CD-Horizon Legacy PEEK rods™

Capítulo 6. Métodos de imagem intraoperatórios

Os constantes avanços nas tecnologias de imagem têm sido uma mais-valia nas técnicas cirúrgicas que necessitam de apoio imagiológico, como é o caso da artrodese lombar. A utilização de métodos imagiológicos tem melhorado os resultados clínicos das intervenções cirúrgicas.⁴⁴

Os métodos imagiológicos mais utilizados no bloco operatório são a Radiologia Convencional (RC) através dos intensificadores de imagem móveis e a Ecografia (Eco) através de ecógrafos portáteis. Mais recentemente, foram introduzidos métodos como a TC e a RM para apoio imagiológico das cirurgias.^{8,13,14}

Em relação à artrodese lombar, o procedimento cirúrgico é assistido por imagens obtidas por intensificadores de imagem móveis ou por iTC.^{45,46}

6.1. Intensificador de Imagem

O intensificador de imagem ou arco em C móvel, como também é conhecido devido à sua aparência (Figura 2) é um equipamento móvel utilizado para adquirir imagens médicas através de raios X. Este é muito utilizado em diversas áreas cirúrgicas, desde Ortopedia, cirurgia Vascular, Urologia e Neurocirurgia.⁴⁷

Com este equipamento existe a possibilidade de se obter imagens de forma contínua, possibilitando, por exemplo, avaliar o movimento a progressão de produto de contraste através de um vaso sanguíneo ou realizar angiografia digital de subtração (*Digital Subtraction Angiography* – DSA) (Figura 32).⁴⁷

Atualmente existem diferentes modelos de intensificadores de imagem móveis. Algumas empresas especializadas na comercialização de equipamentos imagiológicos já dispõem de equipamentos em que o detetor da radiação proveniente dos doentes é um detetor plano (*flat panel*) completamente digital (Figura 33 e Figura 34), substituindo assim o tubo intensificador existente na maioria dos equipamentos comercializados.^{48,49}

Outras empresas investiram em equipamentos que permitem realizar aquisições tridimensionais (Figura 34 e Figura 35), permitindo assim obter imagens nos três planos anatômicos através de reconstruções MPR tal como acontece nos equipamentos de TC.^{49,50}

Por sua vez, a empresa Medtronic desenvolveu um equipamento que tem a mesma funcionalidade que os tradicionais intensificadores, porém devido ao seu *design*, é denominado por arco em O (Figura 36). Este equipamento também permite obter imagens multiplanares.⁵¹



Figura 32 – Imagem de DSA



Figura 33 – Arco em C com *flat panel*. Philips - Verdius

Fonte: 2011, Ziehm Imaging⁴⁹



Figura 34 — Arco em C com *flat panel*. Ziehm Vision - FD Vario 3D

Fonte: 2010, Siemens Healthcare⁵⁰



Figura 35 – Arco em C. Siemens - Arcadis Orbic 3D

Fonte: 2011, Medtronic⁵¹



Figura 36 – Arco em O. Medtronic - O-arm

6.2. Tomografia Computorizada intraoperatória

Como já foi dito na *secção 1.1*, a iTC foi utilizada pela primeira vez num procedimento cirúrgico de Neurocirurgia, realizado por M. N. Shalit em Tel Aviv, para verificar a presença de tecido tumoral residual no cérebro após uma resseção primária do tumor. Anos mais tarde, Lunsford *et al* também recorreram a este método de imagem intraoperatória, introduzindo campos estéreis para manter a assepsia do procedimento e minimizar os riscos de infeção.^{12,13,14,52,53}

Para que seja possível a utilização da iTC no bloco operatório, a mesa onde o doente se encontra deitado aquando da cirurgia deve ser constituída por um compósito de fibra de carbono (Figura 37) de modo a que seja radiotransparente para que seja possível adquirir imagens de TC.^{12,13,53,54}

Fonte: 2012, www.ingeniouscomposites.com



Figura 37 – Mesa cirúrgica constituída por um compósito de fibra de carbono

Existem dois tipos de equipamentos TC que podem ser utilizados no bloco operatório, iTC *sliding gantry* (Figura 1) e iTC móvel (mTC) (Figura 38). Estes dois equipamentos diferem na medida que o iTC *sliding gantry* encontra-se instalado na sala de bloco operatório deslocando-se sobre carris (Figura 39) previamente instalados, como é o caso do Hospital da Luz, e o mTC tem instalado na sua base rodas que permitem que se desloque por várias salas do bloco operatório ou outros locais do hospital, por exemplo na Unidade de Cuidados Intensivos (UCI).^{12,13,14,52,53,55}

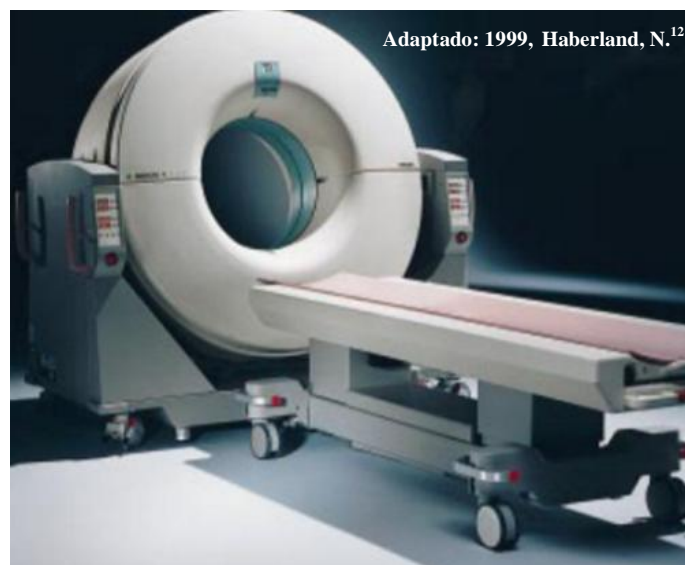


Figura 38 – mTC. Tomoscan M



Figura 39 – Carris onde se desloca a iTC *sliding gantry* na sala de operações

A introdução da iTC no bloco operatório, segundo Koos¹³, é uma mais-valia para as cirurgias pois possibilita uma constante atualização imagiológica mais segura dos procedimentos que se encontram a decorrer sem que o doente tenha que sair do ambiente asséptico existente na sala de operações, diminuindo assim a necessidade de novas intervenções cirúrgicas.^{12,13,14,45,52,54,55}

A Figura 40 explica sucintamente em que fase da cirurgia a iTC pode ser utilizada. A aquisição de imagem por parte desta, pode ser realizada após a colocação dos parafusos pediculares. Se se observar alguma complicação cirúrgica ou verificar uma má colocação de algum parafuso pedicular, o cirurgião tem a possibilidade de corrigir essa situação sem

que haja necessidade de nova cirurgia. Se por sua vez, não se verificar nenhuma complicação o cirurgião pode dar por terminada a cirurgia.

Atualmente, além da utilização da iTC em Neurocirurgia, a sua utilização viu-se expandida a outras especialidades médico-cirúrgicas tais como Radiologia de Intervenção, Cardiorádica, Ortopedia, Urologia, etc.⁵⁴

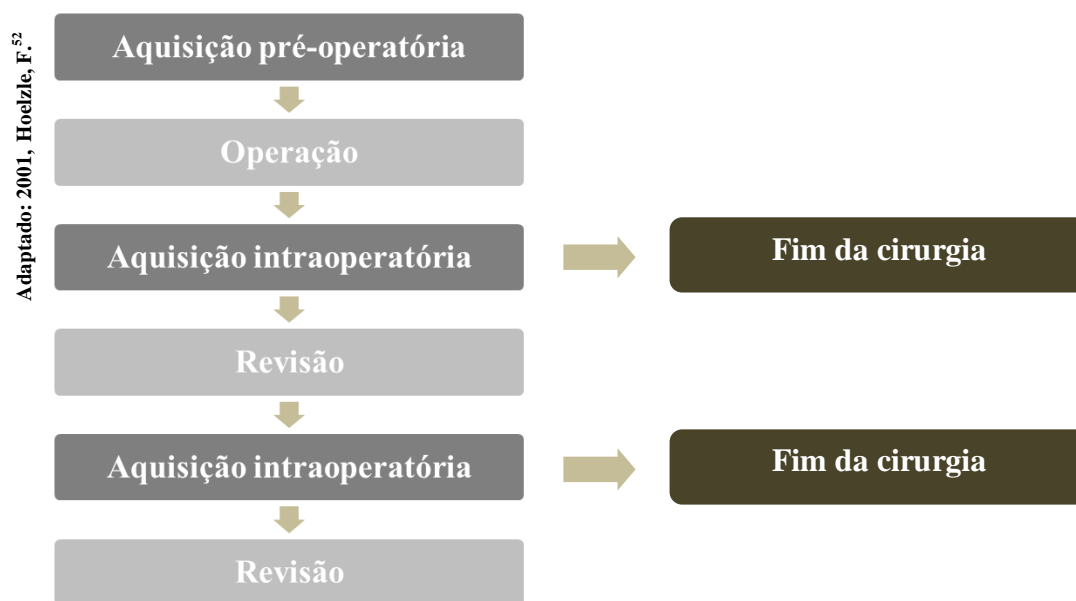


Figura 40 – Diagrama de utilização de iTC

Capítulo 7. Análise de dados

Durante este período de estágio procurou-se recolher dados que permitissem avaliar as vantagens da utilização da iTC na artrodese lombar. Foram considerados diversos aspetos, como a dose de radiação a que o doente e a equipa presente na sala estão expostos, a precisão que as imagens de iTC trazem à introdução dos parafusos pediculares, assim como os artefactos que estes provocam nas imagens foram interpretados.

No hospital, de março a outubro de 2012, realizaram-se 54 artrodeses lombares (Gráfico 1), sendo que em abril, agosto e outubro foram os meses em que se realizaram mais procedimentos e por sua vez em julho foi o mês com menos procedimentos. A nível de apoio imagiológico, houve recurso à iTC e ao intensificador de imagem móvel em três artrodeses e em duas foi somente utilizado a iTC. Nas restantes 49 houve recurso apenas ao intensificador de imagem móvel.

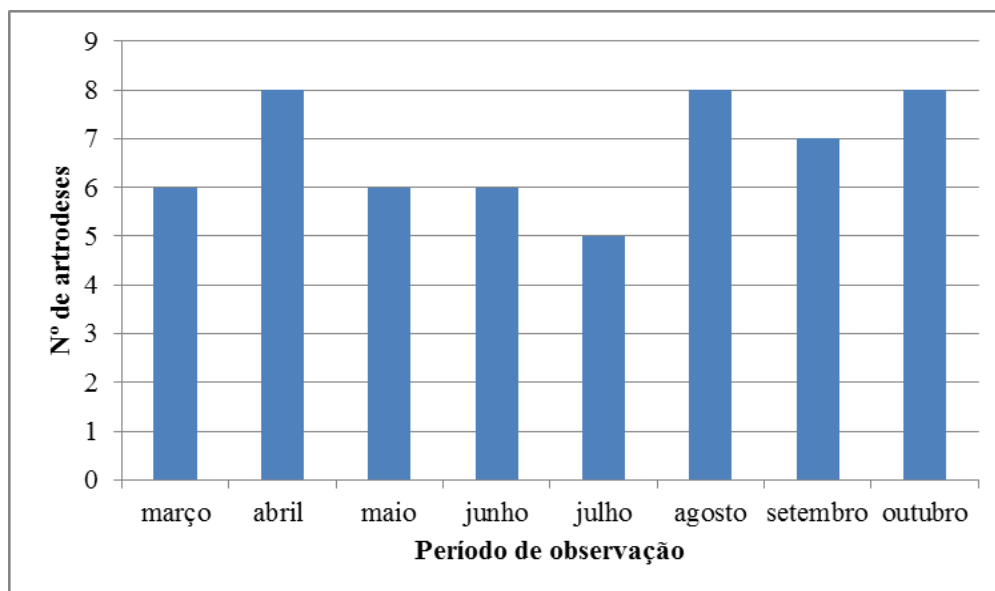


Gráfico 1 – N° de artrodeses lombares realizadas no Hospital da Luz de março a outubro de 2012

7.1. Qual a importância da iTC?

Desde da sua primeira utilização em Portugal (dezembro de 2007, Hospital da Luz), a iTC trouxe diversas vantagens no planeamento cirúrgico e na avaliação intraoperatória, documentadas no trabalho, de autoria de um grupo de Técnicos de Radiologia do Hospital da Luz, apresentado em 2011 no XV Congresso Nacional da ATARP (Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear), tendo por título “TC Intraoperatória: Múltiplas aplicações nas diversas especialidades médico-cirúrgicas”.⁵⁴

No âmbito do presente trabalho que diz respeito à artrodese lombar, de acordo com a opinião dos cirurgiões entrevistados, a possibilidade de recorrer à iTC e às diferentes aplicações que esta permite, tornou-se uma mais-valia durante este procedimento cirúrgico.

Da observação prática e com base na literatura existente sobre a temática em questão, pode-se afirmar que a utilização da iTC permite uma avaliação mais precisa na colocação dos parafusos pediculares, sendo estes os principais responsáveis por possíveis lesões vasculares, viscerais e neurológicas na zona operada.^{12,44,45,56,57,58,59}

Dos dados recolhidos pode-se verificar a importância das imagens axiais adquiridas (Figura 41 e Figura 42) e das reformatações realizadas no plano coronal e sagital (Figura 43) pois fornecem mais informação que as projeções AP e perfil (Figura 44) adquiridas pelo intensificador de imagem móvel. As imagens axiais e reformatações obtidas pela iTC permitem uma melhor visualização da morfologia dos pedículos do corpo vertebral assim como uma melhor diferenciação das estruturas envolventes, aumentando a eficácia na introdução dos parafusos. A utilização da iTC permite a avaliação dentro da sala de operações (Figura 40) com uma maior acuidade da correta posição dos parafusos.

A título de exemplo, no caso documentado na Figura 42 pode-se observar uma correta colocação dos parafusos pediculares sem que haja dano das estruturas envolventes da vértebra. Por sua vez, no caso documentado na Figura 45 é possível observar uma perfuração na totalidade do corpo vertebral pelos parafusos pediculares. Este exemplo documenta a importância da iTC, pois possibilitou a correção da posição dos parafusos sem que houvesse necessidade de nova intervenção evitando qualquer tipo de lesão nas estruturas envolventes.

Segundo Costa *et al*, as cirurgias que são realizadas com apoio de iTC apresentam uma taxa de perfuração de 9,3%, por sua vez as cirurgias que têm apenas apoio

fluoroscópico apresentam uma taxa de 14,3%.⁴⁵ Estes valores, apesar de não apresentarem uma discrepância elevada demonstram a mais-valia da utilização da iTC na artrodese.

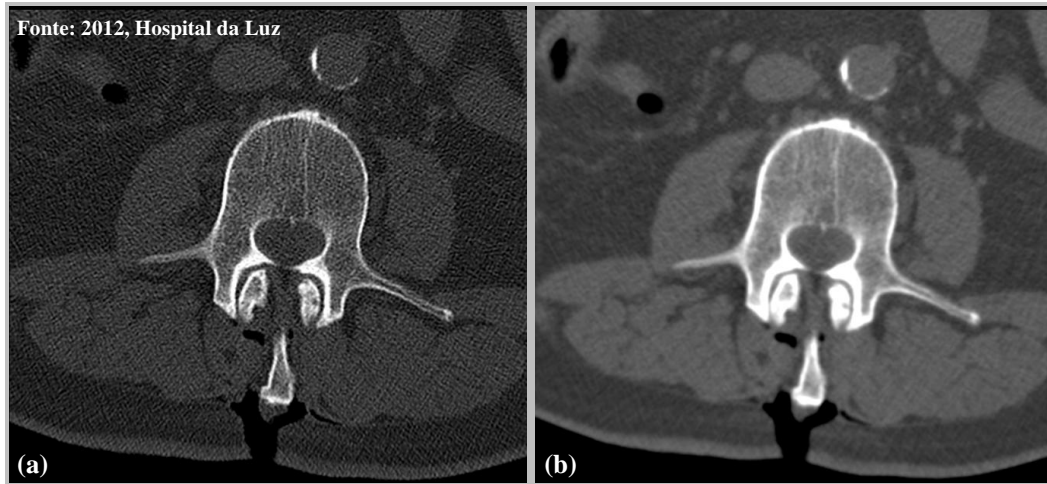


Figura 41 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo (a) e tecidos moles (b)

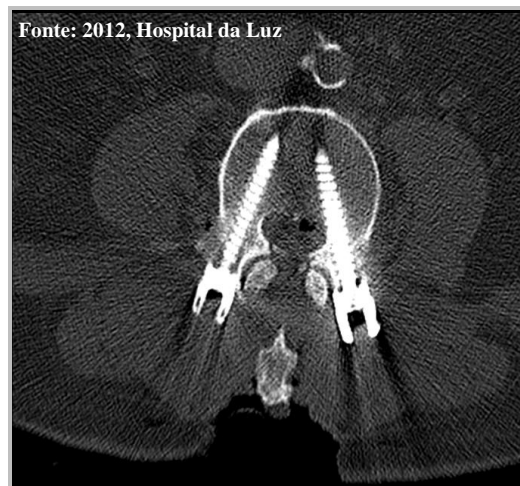


Figura 42 – Imagem axial janela de osso com visualização de dois parafusos pediculares

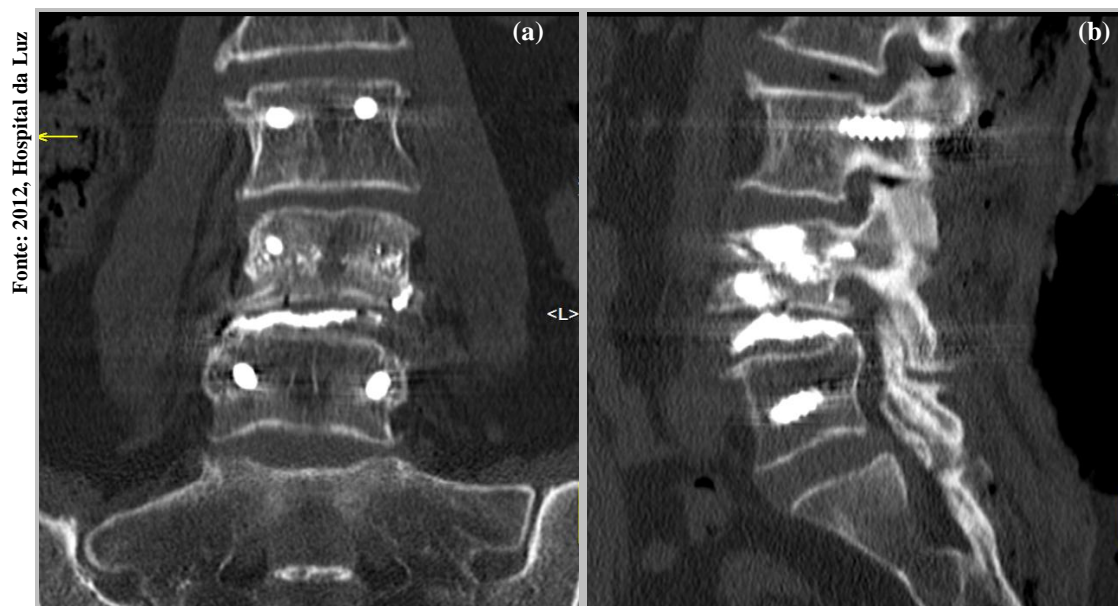


Figura 43 – Reformatações no plano coronal (a) e plano sagital (b)

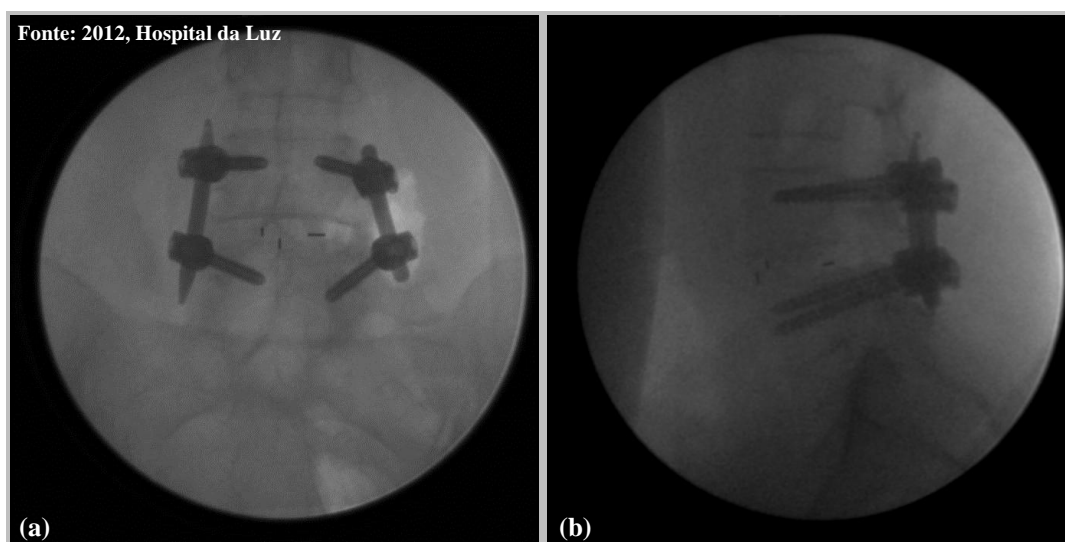


Figura 44 – Imagem AP (a) e perfil (b) da coluna lombar

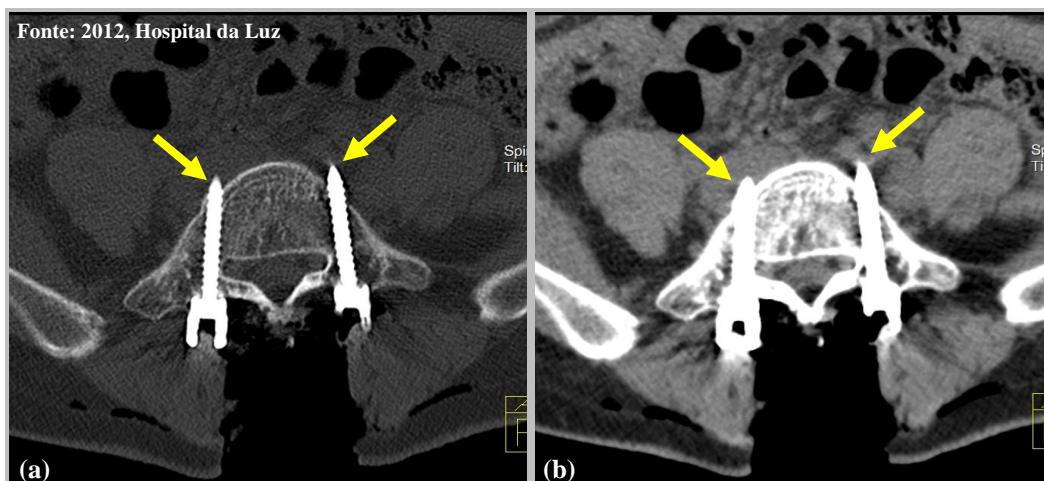


Figura 45 – Imagem axial em janela de osso (a) e tecidos moles (b). Parafusos pediculares com perfuração da totalidade do corpo vertebral

Outra mais-valia a nível imagiológico da iTC é possibilidade de realizar reconstruções tridimensionais, dado que estas são muito úteis por oferecer uma melhor perceção da relação dos parafusos pediculares e outros dispositivos de fixação com a coluna vertebral.

A Figura 46 documenta um caso em que foi realizado uma artrodese a nível da vértebra L4 e L5. As imagens VRT apresentadas com diferentes graus de rotação permitem avaliar de forma tridimensional a posição dos parafusos pediculares na coluna vertebral. De igual forma a Figura 47 apresenta imagens VRT que documentam uma artrodese realizada a mais do que um nível vertebral, de D11 a L3.



Figura 46 – Imagens VRT com várias rotações de artrodese lombar a nível L4-L5

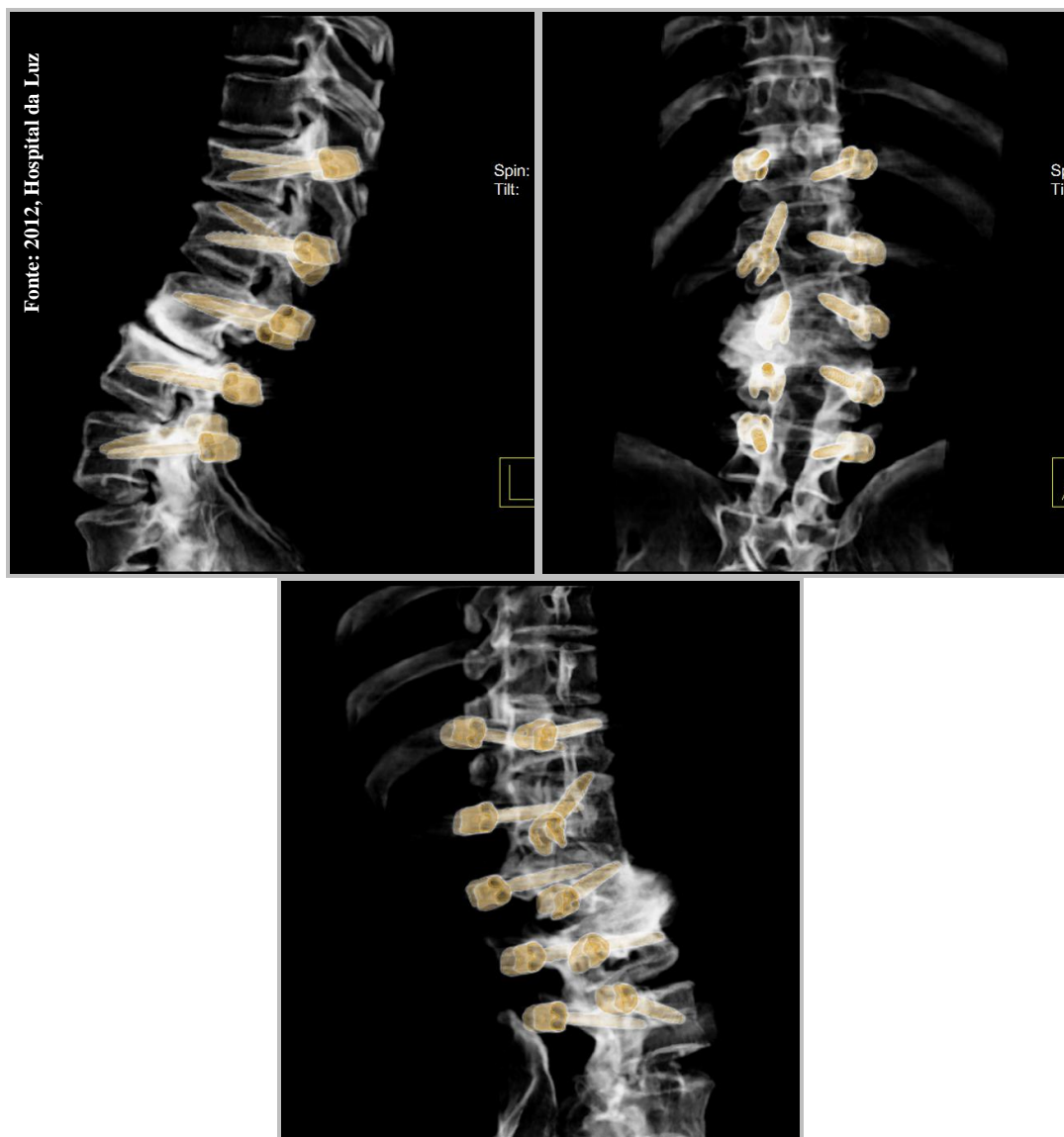


Figura 47 – Imagens VRT com várias rotações de artrodese vertebral a nível D11\L3

7.2. Dose de radiação

Um dos parâmetros que devem ser considerados aquando da escolha da iTC é a dose de radiação, dado que a radioproteção sempre foi uma das maiores preocupações quando se fala de exames que recorrem à radiação ionizante.

Vários fatores podem influenciar a dose de radiação a que os doentes, assim como a equipa multidisciplinar presente na sala de operações, são expostos durante a cirurgia. A experiência do cirurgião e do Técnico de Radiologia que opera o equipamento imagiológico, o perfil anatómico do doente e o grau de deformidade a corrigir são fatores que influenciam o número de vezes (e a duração de exposição) em que se requer apoio pelo

intensificador de imagem móvel, assim como a eventual opção pela utilização da iTC, determinando a dose de radiação a que todos os presentes na sala de operações estão sujeitos.

A utilização da iTC, pela natureza deste tipo de exame, pode aumentar a dose de radiação a que os doentes estão sujeitos, contudo não altera a dose a que o cirurgião e restante equipa estão sujeitos visto que quando se procede à aquisição das imagens estes podem sair da sala e visualizar as imagens dentro da sala de comandos (Figura 48). Caso haja necessidade de estar alguém presente na sala de operações aquando da aquisição, este deverá estar ao lado da *gantry* acompanhando o seu movimento de modo a reduzir a dose de radiação a que é exposto.

Por sua vez, quando é requerida a utilização do intensificador de imagem móvel, a equipa cirúrgica e o Técnico de Radiologia permanecem na sala aquando da aquisição de imagem. Esta situação faz com que a dose a que estão sujeitos seja maior, apesar de haver uma redução de dose a que o doente é exposto.

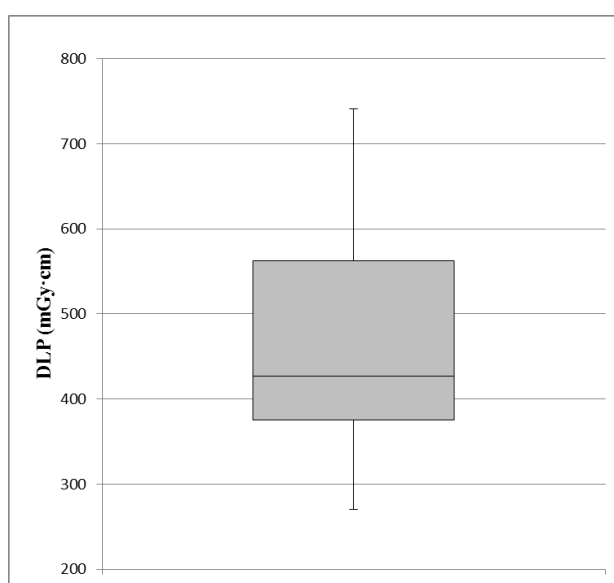


Figura 48 – Equipa na sala de comandos

Na prática clínica a comparação da dose de radiação da iTC e do intensificador de imagem móvel não pôde ser realizada de forma direta devido ao facto que o “sumário de radiação” que o intensificador disponibiliza só indica o tempo de fluoroscopia por exame. Devido a esta limitação, a comparação foi realizada recorrendo à literatura, onde segundo Costa *et al* a dose efetiva de radiação quando utilizado o intensificador de imagem móvel varia entre 1,0mSv e 6,8mSv, por sua vez os valores de iTC variam entre 2,69mSv e 6,60mSv sendo considerados aceitáveis.⁴⁵

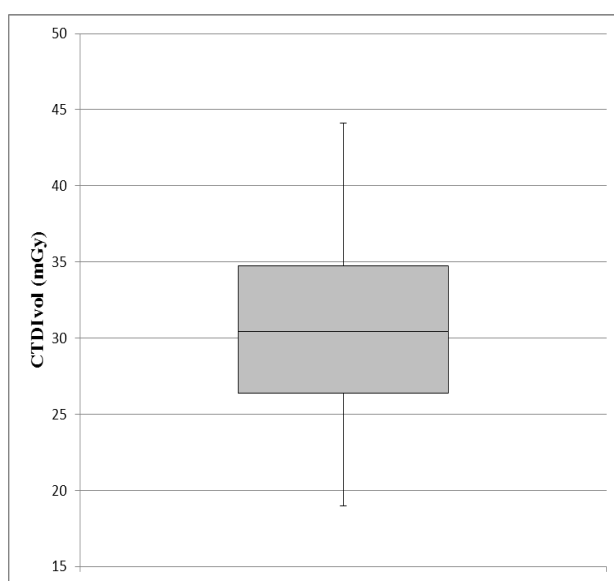
De modo a analisar a dose de radiação da iTC foi recolhido do PACS o valor de *Dose Length Product* (DLP) de 22 exames realizados de janeiro de 2010 e outubro de 2012 e

calculada a média aritmética amostral e respetivo desvio-padrão (σ). Assim, o valor médio de DLP calculado foi de $470,82 \pm 136,40 \text{ mGy}\cdot\text{cm}$ e de acordo com os valores apresentados no Gráfico 2, o valor mínimo foi de $270 \text{ mGy}\cdot\text{cm}$ e o valor máximo foi de $741 \text{ mGy}\cdot\text{cm}$. Desse mesmo número de exames foi também retirado e calculado a média aritmética amostral e respetivo σ dos valores do índice de dose de TC ponderado por volume (CTDI_{vol}). Assim, o valor calculado foi de $30,56 \pm 5,97 \text{ mGy}$. De acordo com o Gráfico 3 o valor mínimo foi de $18,98 \text{ mGy}$ e o máximo de $44,13 \text{ mGy}$.



	DLP (mGy·cm)
Mínimo	270
1º Quadril	375,75
Mediana	427
3º Quadril	562,5
Máximo	741

Gráfico 2 – Caixa de bigodes dos valores de DLP



	CTDIvol (mGy)
Mínimo	18,98
1º Quadril	26,40
Mediana	30,45
3º Quadril	34,73
Máximo	44,13

Gráfico 3 – Caixa de bigodes dos valores de CTDI_{vol}

7.3. Artefactos na TC

Um dos principais problemas que se podem verificar na aquisição de imagens de TC em doentes anteriormente submetidos a artrodese lombar são os artefactos causados pelos dispositivos metálicos eventualmente implantados como se encontra documentado na Figura 49, Figura 50 e Figura 51. Estes artefactos são uma das principais razões para a constante procura e desenvolvimento de dispositivos de fixação constituídos por materiais não metálicos que apresentem características biomecânicas semelhantes aos dispositivos atualmente utilizados.

A presença de artefactos nas imagens provoca uma dificuldade acrescida na análise das mesmas e, posto isto, os equipamentos de TC possuem diversas técnicas que permitem a sua redução. A variação da escala de cinzentos da janela de visualização pode atenuar a intensidade dos artefactos, como se pode observar na Figura 50, onde estes são mais evidentes nas imagens visualizadas em janela de tecidos moles do que em janela de tecido ósseo. Por sua vez, a alteração da espessura de corte em imagens com a mesma janela de visualização também provoca alterações a nível da intensidade dos artefactos e ruído. Na Figura 51 são apresentadas imagens visualizadas em janela de osso com espessura de corte diferente. Pode-se observar uma maior intensidade de artefactos na imagem reconstruída com espessura de corte mais fina. A possibilidade de utilização dos diferentes filtros (*kernels*) de reconstrução de imagem disponibilizados nos equipamentos constitui também uma forma atenuar artefactos presentes nas imagens.

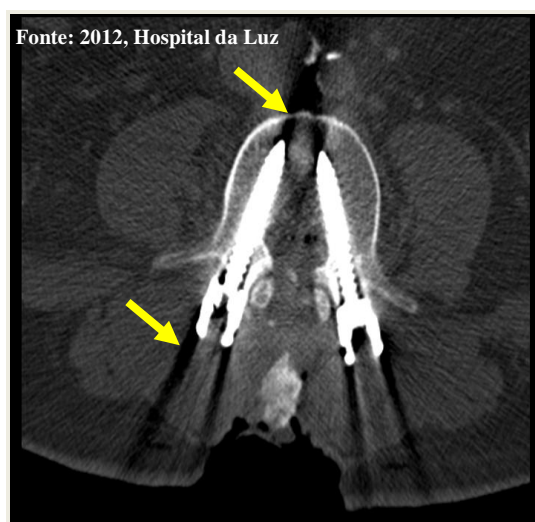


Figura 49 – Imagem axial em janela de osso com presença de artefactos causados por parafusos pediculares (setas amarelas)

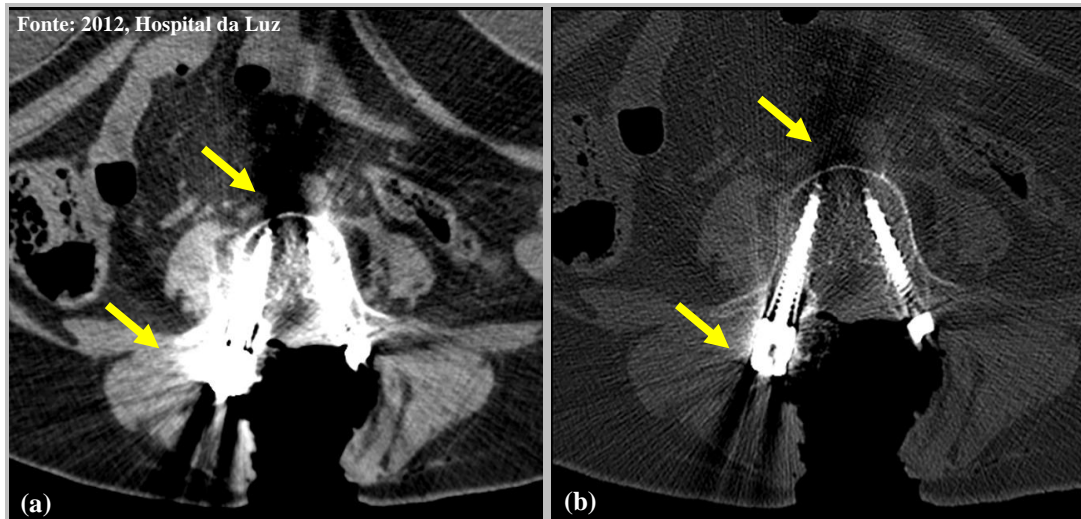


Figura 50 – Imagem axial em janela para visualização de tecidos moles (a) e tecido ósseo (b). Ambas com presença de artefactos causados por parafusos pediculares (setas amarelas)

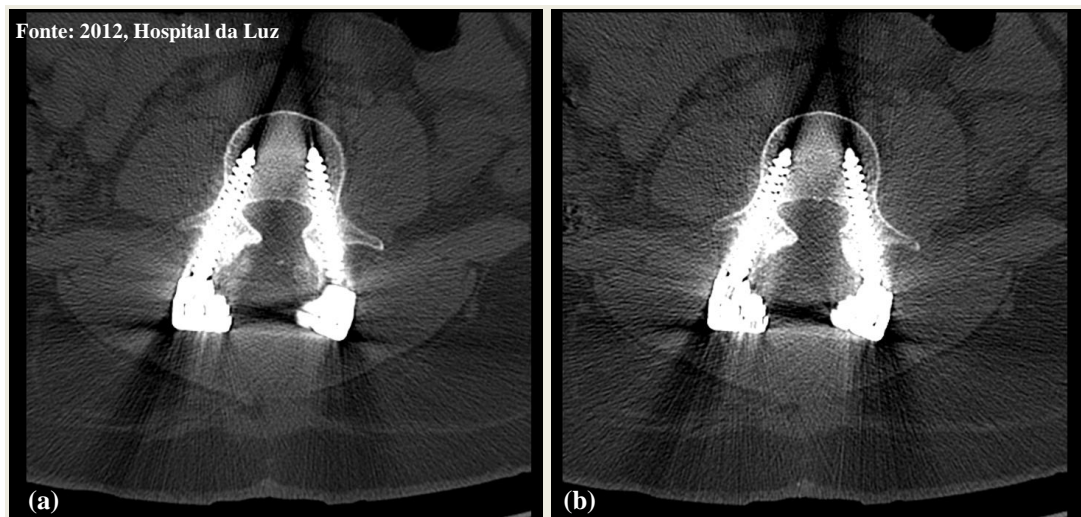


Figura 51 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo com espessura de corte de 3,0mm (a) e 1,5mm (b)

No equipamento utilizado (Figura 1), os filtros de reconstrução disponíveis são classificados com códigos alfanuméricos que, em aquisições no corpo, variam entre B10s e B90s. Os filtros de menor valor são filtros mais suaves, produzindo imagens menos ruidosas e com melhor resolução de baixo contraste (Figura 52), sendo ideais para estudo de tecidos moles. Por sua vez, filtros com valores mais elevados são indicados para estudo de estruturas ósseas apresentando uma melhor resolução espacial, contudo introduzem um maior ruído nas imagens (Figura 53).

De modo a evidenciar o efeito dos filtros de reconstrução no ruído e na intensidade dos artefactos que afetam as imagens reconstruídas, procedeu-se à medição da média e do

σ das unidades de *Hounsfield* (UH) em duas diferentes regiões de interesse (*region of interest* – ROI) com área de $0,52\text{cm}^2$ em imagens visualizadas em janela de tecidos moles e osso e reconstruídas com diferentes filtros. Assim, e para obter uma comparação mais fiável, foi assegurado que as imagens visualizadas em janela de tecidos moles e osso apresentavam os mesmos valores na escala de cinzentos entre si e que a marcação de cada ROI nas imagens fosse no mesmo local e plano anatómico. Refere-se que as imagens usualmente utilizadas para avaliação médica são reconstruídas com o filtro B31s e B70s para visualização em janela de tecidos moles e osso respetivamente e com uma espessura de corte de 3mm.

Na Figura 52 são apresentadas quatro imagens em janela de tecidos moles e reconstruídas com os filtros B10s (a), B20s (b), B31s (c) e B40s (d). Da análise qualitativa destas imagens pode observar-se um aumento da resolução espacial à medida que o valor do filtro aumenta e consequente ruído, porém esta situação é mais evidente quando se comparam as imagens reconstruídas pelo filtro B10s e filtro B40s. Entre as imagens reconstruídas com filtro B20s e filtro B31s não é perceptível nenhum aumento de ruído nas mesmas. Nas imagens apresentadas não se observam alterações apreciáveis a nível dos artefactos presentes.

Da análise da Tabela 2, observa-se que a ROI que apresenta um valor de σ mais elevado corresponde à imagem reconstruída com filtro B40s, e a ROI com menor valor de σ corresponde à imagem reconstruída com filtro B10s. Esta avaliação quantitativa está em concordância com o que se observa a nível qualitativo na Figura 52.

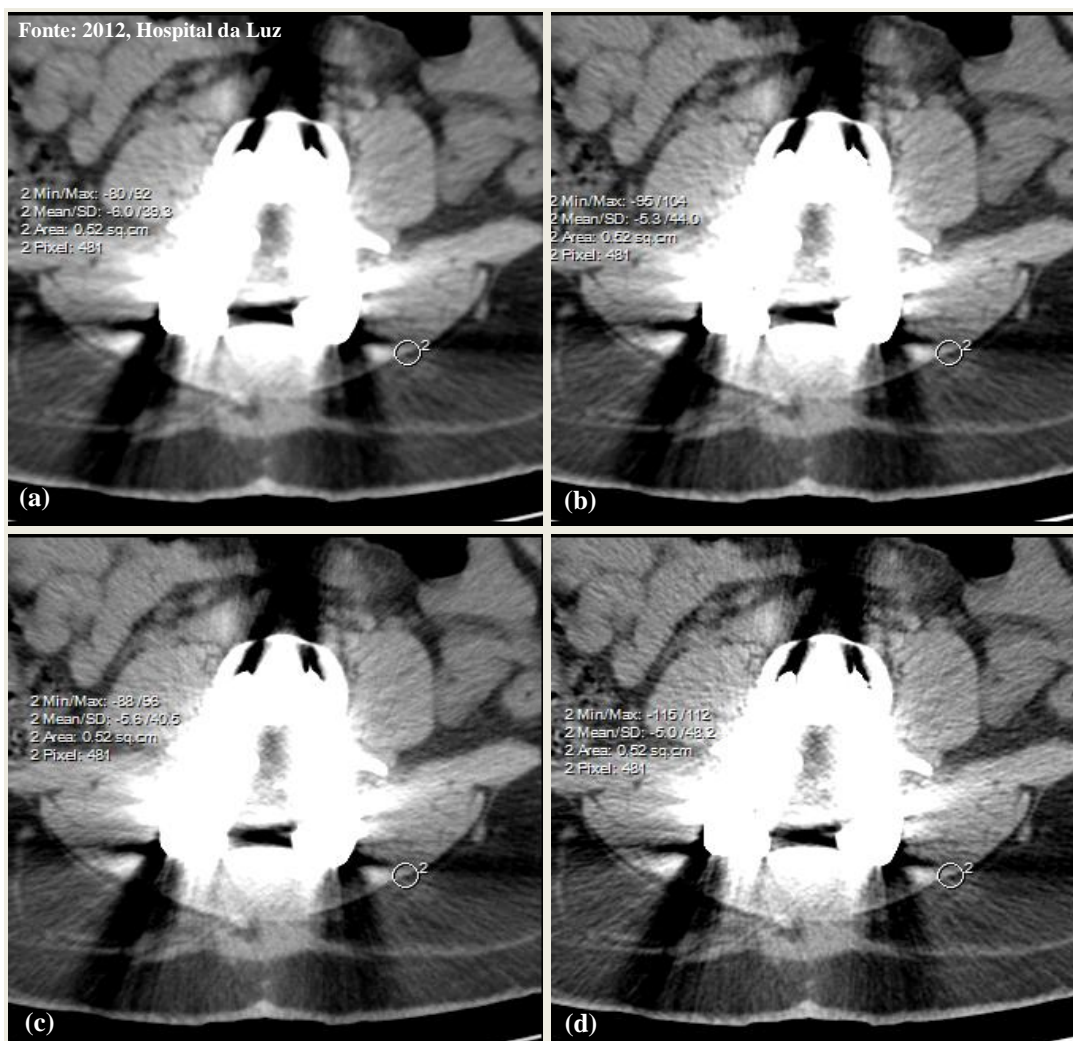


Figura 52 – Imagem axial em janela para visualização de tecidos moles com filtro B10s (a), filtro B20s (b), filtro B31s (c) e filtro B40s (d) com marcação de ROI 2

Tabela 2 – Valor de UH médio e do σ obtidos na ROI 2 conforme a Figura 52 em imagem visualizadas em janela de tecidos moles

Filtro	Média (UH)	Desvio Padrão (UH)
B10s	-6,0	39,3
B20s	-5,3	44,0
B31s	-5,6	40,6
B40s	-5,0	48,2

Na Figura 53 estão documentadas quatro imagens visualizadas em janela de osso e reconstruídas com os filtros B50s (a), filtro B60s (b), filtro B70s (c) e filtro B90s (d). Neste caso e analisando qualitativamente as imagens é possível observar um aumento perceptível da resolução espacial e do ruído à medida que o valor do filtro utilizado na reconstrução

das imagens aumenta. Por sua vez, nesta avaliação qualitativa observa-se que a análise das imagens reconstruídas com os filtros B60s e B70s são menos prejudicados pelos artefactos.

Da análise da Tabela 3, observa-se que a imagem reconstruída com filtro B90s é a que apresenta um maior valor de ruído, e por sua vez a imagem reconstruída com filtro B50s apresenta o menor valor de ruído. Esta avaliação quantitativa do ruído está em concordância com a avaliação qualitativa efetuada para as imagens da Figura 53.

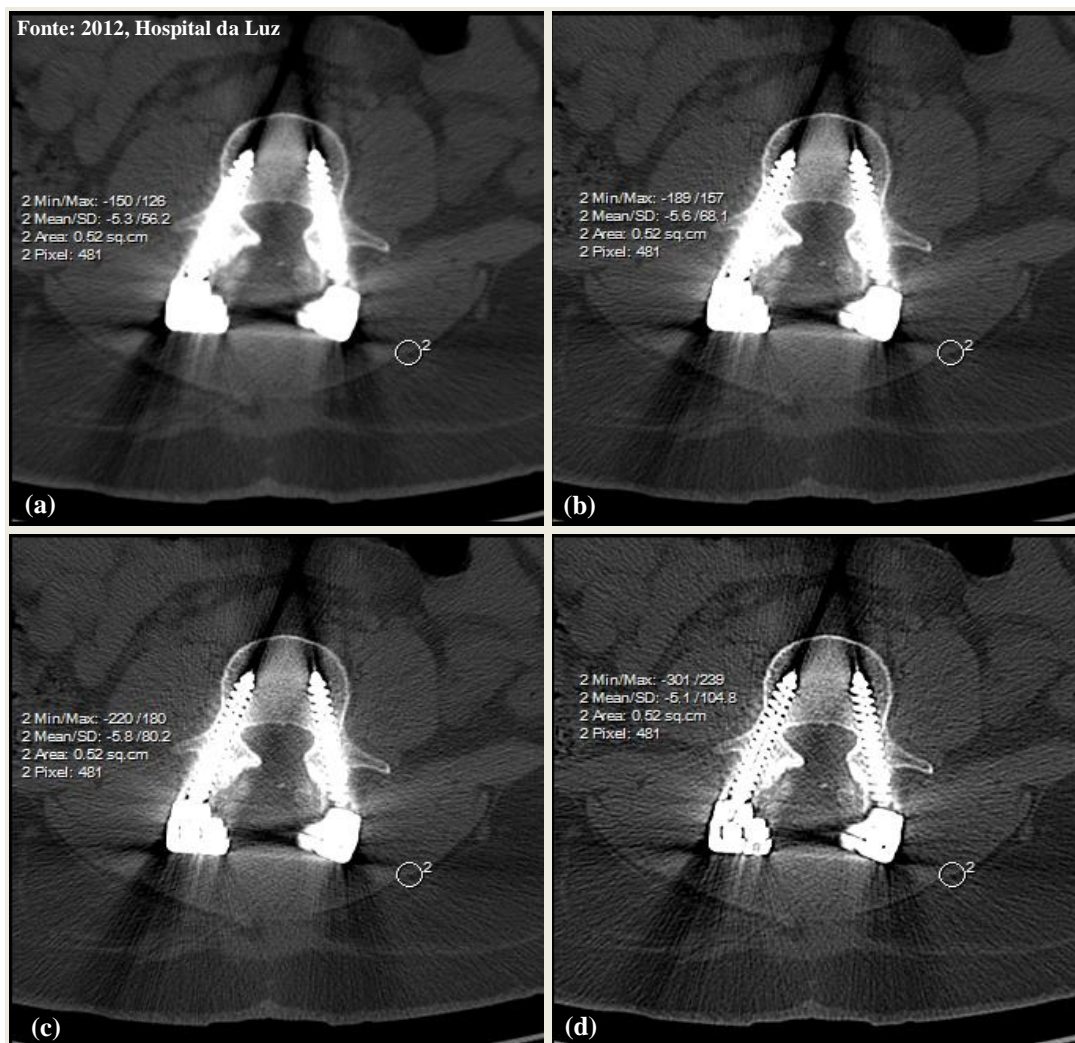


Figura 53 – Imagem axial em janela para visualização de tecido ósseo com filtro B50s (a), filtro B60s (b), filtro B70s (c) e filtro B90s (d) com marcação de ROI 2

Tabela 3 – Valor de UH médio e do σ obtidos na ROI 2 marcado conforme a Figura 53 em imagens visualizadas em janela de osso

Filtro	Média (UH)	Desvio Padrão (UH)
B50s	-5,3	56,2
B60s	-5,6	68,1
B70s	-5,8	80,2
B90s	-5,1	104,8

A Figura 54 demonstra a localização da ROI 1 que foi marcada nas imagens reconstruídas com os oito filtros utilizados. Da análise dos valores da ROI 1 apresentados na Tabela 4, observa-se que a imagem com maior ruído são as imagens reconstruídas pelo filtro B90s e as que apresentam menos ruído são as imagens reconstruídas pelo filtro B31s. As imagens reconstruídas com filtro B10s apresentam valores de ruído semelhante às imagens reconstruídas com o filtro B31s e, por sua vez as imagens reconstruídas com os filtros B20s, B40s e B50s apresentam valores de ruído semelhantes, assim como as reconstruções efetuadas com os filtros B60s e B70s.

O Gráfico 4 salienta a variação dos valores de ruído apresentados nas Tabela 2, 3 e 4 de acordo com as duas diferentes ROI e filtros de reconstrução. Da sua análise observa-se que existe uma diminuição do nível de ruído em ambas as ROI para as imagens reconstruídas para o filtro B31s o que não era espectável pela avaliação qualitativa.

Devido ao que fora observado e documentado na Figura 52 e Figura 53, aquando da reconstrução das imagens, a escolha do filtro utilizado deverá constituir um compromisso entre a resolução espacial e o ruído na imagem.

Apesar de não ter sido feito nenhuma análise comparativa, segundo a literatura, o aumento dos kilovolts pico (kVp) e dos miliamperes-segundo (mAs) durante a aquisição de imagens pode também diminuir a intensidade dos artefactos nas imagens.^{16,60}

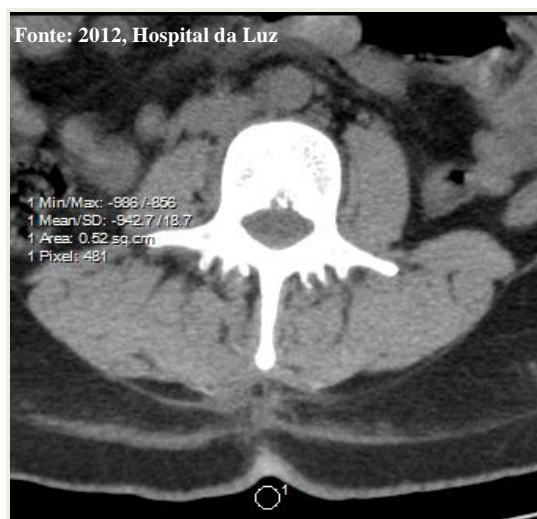


Figura 54 – Marcação da ROI 1

Tabela 4 – Valor de UH médio e do σ na ROI 1 marcado conforme a Figura 54 em imagens visualizadas em janela de tecidos moles e osso

Filtro	Média (UH)	Desvio Padrão (UH)
B10s	-966,0	19,9
B20s	-956,9	22,4
B31s	-942,7	18,7
B40s	-952,5	23,8
B50s	-962,1	26,3
B60s	-946,3	31,6
B70s	-943,8	35,8
B90s	-945,2	44,3

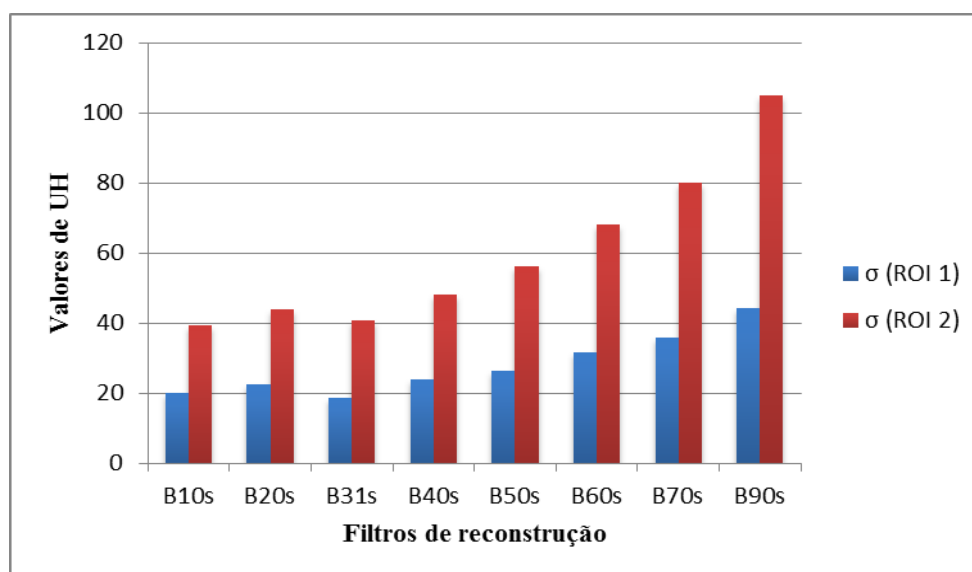


Gráfico 4 – Variação do σ obtido da marcação das duas ROI nas imagens reconstruídas com os diferentes filtros de reconstrução

7.4. Critérios de utilização da iTC

Durante o período de observação de cirurgias e da recolha de dados, assim como da entrevista a alguns cirurgiões que realizam a artrodese lombar, foi possível recolher informações relativas aos critérios que levam à utilização da iTC durante a cirurgia. Aos entrevistados foram colocadas as seguintes perguntas de resposta aberta:

- Para si, qual importância da iTC?
- O que o leva ou não a utilizar a iTC na artrodese lombar?
- Na sua opinião é uma mais-valia a sua utilização?
- O tempo despendido e o aumento dos encargos financeiros compensam a utilização da iTC?

Do que se pôde constatar, a utilização da iTC na artrodese é uma escolha que depende exclusivamente do cirurgião, pois, sendo um equipamento ainda pouco utilizado em procedimentos cirúrgicos, a sua utilização requer um gasto de tempo suplementar dado que os procedimentos necessários ainda não se encontram completamente padronizados, assim como um maior gasto a nível financeiro pois a cada nova aquisição é necessária a utilização de novos campos cirúrgicos de modo a assegurar a esterilidade da área cirúrgica.

A nível clínico, o que leva à preferência da utilização de aquisições intraoperatórias de TC é o grau e complexidade da deformidade da coluna a operar e a quantidade de níveis vertebrais a operar.

No período de observação foi possível constatar que a utilização da iTC era sobretudo requerida no final da cirurgia de modo a avaliar a posição dos parafusos pediculares assim como a existência de alguma complicação. Por sua vez, quando o apoio imagiológico era feito através do intensificador de imagem móvel, a sua solicitação variava de cirurgião para cirurgião. Em algumas situações estes necessitavam de apoio imagiológico desde do início do procedimento, em outras apenas o solicitavam no final da cirurgia.

Neste período observou-se que em alguns procedimentos o cirurgião solicitava na mesma cirurgia o intensificador de imagem móvel e a iTC. Numa fase inicial, o cirurgião recorria ao intensificador para uma marcação mais rápida do local a operar (Figura 55), e apenas numa fase final pedia o apoio da iTC para confirmar de forma mais precisa a posição dos parafusos pediculares e de possíveis complicações. Da análise do Gráfico 5, correspondente aos 22 procedimentos em que se utilizou a iTC, verifica-se que apenas em sete procedimentos foi utilizada exclusivamente a iTC e em quinze houve necessidade de recorrer às duas técnicas imagiológica.

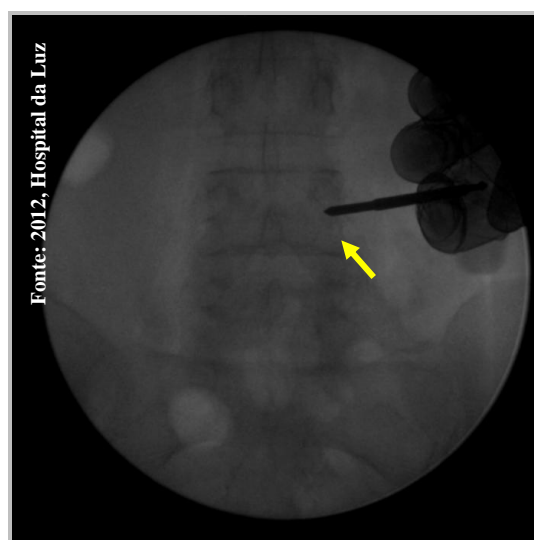


Figura 55 – Imagem AP obtida por intensificador de imagem móvel para marcação de local de entrada do parafuso pedicular (seta amarela)

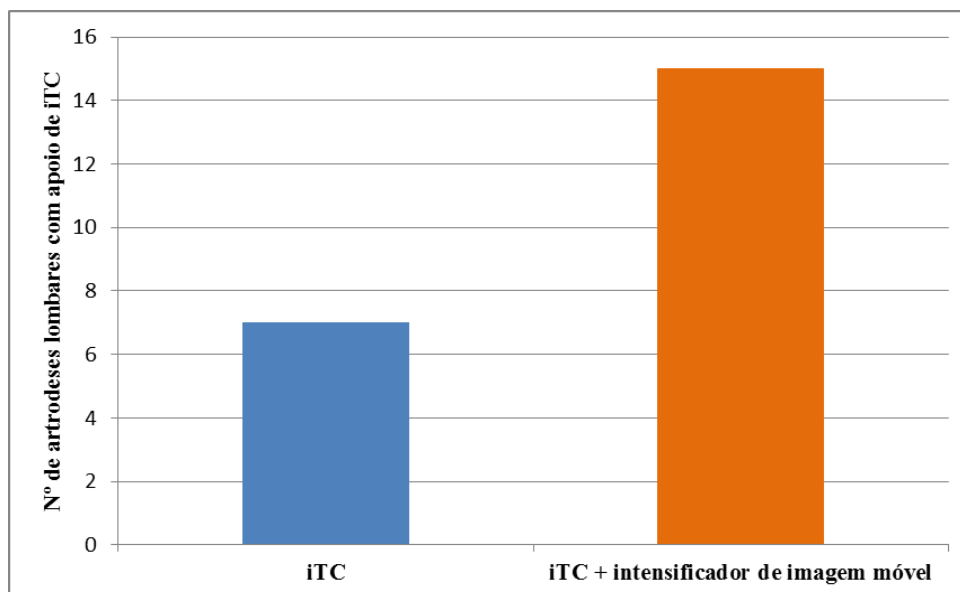


Gráfico 5 – Nº de procedimentos realizados com apoio da iTC e iTC + intensificador de imagem móvel de janeiro de 2010 a outubro de 2012

Capítulo 8. Conclusão

A elaboração do presente documento teve como principal objetivo demonstrar a importância da iTC na artrodese lombar. Com a recolha de dados foi possível retirar informação que permite concluir que a utilização da iTC nesta prática cirúrgica é uma mais-valia para o cirurgião, ao qual cabe a responsabilidade da escolha do equipamento a ser utilizado.

A realização do presente trabalho baseou-se na observação de um número reduzido de procedimentos cirúrgicos realizados com apoio da iTC o que não permitiu uma avaliação mais significativa da sua importância. Outra limitação para os objetivos propostos foi a ausência de informação dada pelos intensificadores de imagem em relação à dose de radiação.

A iTC ainda não é muito requisitada devido a não existirem procedimentos totalmente padronizados para a sua utilização, o que leva a um aumento do tempo de cirurgia para que possam ser realizadas aquisições de imagens de forma segura e um aumento do custo devido ao uso de uma maior quantidade de campos estéreis.

A possibilidade de reconstruções MPR e VRT a partir das imagens obtidas pela iTC revela-se uma mais-valia em relação às imagens AP e em perfil obtidas pelo intensificador de imagem móvel, pois permitem uma visualização e discriminação mais precisa da anatomia vertebral. Outra grande vantagem que as aquisições intraoperatórias por TC apresentam, é a possibilidade de avaliação dentro da sala de operações da existência de alguma lesão das estruturas vasculares, neurológicas e viscerais envolventes à zona operada provocada pela má colocação dos parafusos pediculares.

Os valores de dose efetiva para aquisições pela iTC encontram-se segundo a literatura dentro dos valores aceitáveis⁴⁵, o que permite concluir que a dose de radiação não será uma limitação para a sua utilização. A possibilidade da equipa sair da sala de operações durante a aquisição de imagens possibilita a redução da dose ocupacional.

No futuro, este trabalho poderá ter continuação no sentido de estabelecer uma possível padronização dos procedimentos a seguir na artrodese lombar com apoio da iTC, de forma a reduzir os custos da utilização da iTC e torná-la o equipamento *gold standard* neste procedimento cirúrgico.

Referências bibliográficas

1. Hanley Jr., E. N.; David, S. M., Current Concepts Review - Lumbar Arthrodesis for the Treatment of Back Pain. *The Journal of Bone & Joint Surgery*: 1999, 81 (5), 716-30.
2. Tang, G.; Rodts, G.; Haid Jr., R. W., Patient Selection in Lumbar Arthrodesis for Low Back Pain. In *Surgical Management of Low Back Pain*, Thieme: 2001.
3. Tehranzadeh, J.; Ton, J. D.; Rosen, C. D., Advances in Spinal Fusion. *Seminar Ultrasound CT MR*: 2005, 26 (2), 103-13.
4. Krismer, M., Fusion of the lumbar spine: A consideration of the indications. *The journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*: 2002, 84 (6), 783-94.
5. Avanzi, O.; Chih, L. Y.; Meves, R.; Silber, M. F., Tratamento da instabilidade lombar com parafusos pediculares. *Acta Ortopédica Brasileira*: 2005, 13 (1), 5-8.
6. Sengupta, D. K., Dynamic stabilization devices in the treatment of low back pain. *Neurology India*: 2005, 53 (4), 466-74.
7. Marchesi, D. G., Spinal fusions: bone and bone substitutes. *European Spine Journal*: 2000, 9 (5), 372-8.
8. Rutherford, E. E.; Tarplett, L. J.; Davies, E. M.; Harley, J. M.; King, L. J., Lumbar Spine Fusion and Stabilization: Hardware, Techniques, and Imaging Appearances. *Radiographics*: 2007, 27 (6), 1737-49.
9. Ferreira, S. R., Centro de Atenção Especializada em Coluna e Trauma Raquimedular. *Caderno de Enfermagem em Ortopedia*: 2009, 2, 8-11.
10. Kwon, B.; Jenis, L. G., Carrier materials for spinal fusion. *The Spine Journal*: 2005, 5 (6), 224-30.
11. Williams, A. L.; Gornet, M. F.; Burkus, J. K., CT Evaluation of Lumbar Interbody Fusion: Current Concepts. *American Journal of Neuroradiology*: 2005, 26, 2057-66.
12. Haberland, N.; Ebmeier, K.; Hliscs, R.; Grunewald, J. P.; Kalff, R.-L., Intraoperative CT in image-guided surgery of the spine. *Medicamundi*: 1999, 43 (4), 24-31.
13. Zonneveld, F., Intra-operative CT: implementation of the Tomoscan M. *Medicamundi*: 1998, 42 (1), 6-11.
14. Kim, J. W.; Lee, S. H.; Son, Y.-J.; Yang, H.-J.; Chung, Y. S.; Jung, H.-W., Mobile Computed Tomography: Early Experience in Korea. *Journal of Korean Neurosurgical Society*: 2010, 48 (1), 31-36.
15. Okudera, H.; Kobayashi, S.; Kyoshima, K.; Gibo, H.; Takemae, T.; Sugita, K., Development of the Operating Computerized Tomographic Scanner System for Neurosurgery. *Acta Neurochirurgica*: 1991, 111 (1-2), 61-63.

16. Stradiotti, P.; Curti, A.; Castellazzi, G.; Zerbi, A., Metal-related artifacts in instrumented spine. Techniques for reducing artifacts in CT and MRI: state of the art. *European Spine Journal*: 2009, 18, 102-8.
17. Marconato, J. A.; Aesse, F. F.; Ferreira, J. H. P.; Pinheiro, C. P.; Mazzola, A. A., Tomografia Computorizada da coluna lombar após artrodese com emprego de material metálico: Avaliação da qualidade da imagem para diferentes algoritmos matemáticos. *Radiologia Brasileira*: 2007, 40 (1), 17-22.
18. Bartleson, J. D.; Deen, H. G., *Spine Disorders - Medical and Surgical Management*. 1 ed.; Cambridge University Press: 2009.
19. Seeley, R. R.; Stephens, T. D.; Tate, P., Sistema Esquelético: Anatomia Macroscópica. Em *Anatomia & Fisiologia*, 6 ed.; Lusociência: 2005; pp 205-48.
20. Reid, J. J.; Johnson, J. S.; Wang, J. C., Challenges to bone formation in spinal fusion. *Journal of Biomechanics*: 2011, 44 (2), 213-20.
21. Slone, R. M.; MacMillan, M.; Montgomery, W. J.; Heare, M., Spinal Fixation: Part 2. Fixation Techniques and Hardware for the Thoracic and Lumbosacral Spine. *Radiographics*: 1993, 13 (3), 521-43.
22. Boos, N.; Webb, J. K., Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. *European Spine Journal*: 1997, 6 (1), 2-18.
23. Bahadorkhan, G. R.; Samini, F.; Ehsaei, M. R.; Nekoei, S., Complications of Thoracolumbar Stabilization and Instrumentation: A Pictorial Essay. *Iranian Journal of Radiology*: 2009, 6 (2), 73-82.
24. Ullrich Jr., P. F., Lumbar Spinal Fusion Surgery: 1999. <http://www.spine-health.com/treatment/spinal-fusion/lumbar-spinal-fusion-surgery> (acedido em 01-08-2012).
25. Kowalski, R. J.; Ferrara, L. A.; Benzel, E. C., Biomechanics of Bone Fusion. *Neurosurgical Focus*: 2001, 10 (4).
26. Ullrich Jr., Peter F., Posterior Lumbar Interbody Fusion (PLIF) Surgery: 1999. <http://www.spine-health.com/treatment/spinal-fusion/posterior-lumbar-interbody-fusion-plif-surgery> (acedido em 02-08-2012).
27. Montgomery, S. P. Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (TLIF) Back Surgery: 2003. <http://www.spine-health.com/treatment/spinal-fusion/transforaminal-lumbar-interbody-fusion-tlif-back-surgery> (acedido em 02-08-2012).
28. Xu, J.-g.; Zeng, B.-f.; Kong, W.-q.; Zhou, W.; Fu, Y.-s.; Zhao, B.-z.; Zhang, T.; Lian, X.-f., Transforaminal Lumbar Interbody Fusion for Traumatic Lumbar Spondylolisthesis. *Journal Shanghai Jiaotong University - Science*: 2010, 15 (5), 626-31.
29. Kim, H.; Lee, C.-K.; Yeom, J.-S.; Lee, J.-H.; Lee, K.-H.; Chang, B.-S., The efficacy of porous hydroxyapatite bone chip as an extender of local bone graft in posterior lumbar interbody fusion. *European Spine Journal*: 2011, 21 (7), 1324-30.
30. Gibson, S.; McLeod, I.; Wardlaw, D.; Urbaniak, S., Allograft Versus Autograft in Instrumented Postolateral Lumbar Spinal Fusion. *Spine*: 2002, 27 (15), 1599-1603.
31. Meisel, H. J.; Schnöring, M.; Hohaus, C.; Minkus, Y.; Beier, A.; Ganey, T.; Mansmann, U., Posterior lumbar interbody fusion using rhBMP-2. *European Spine Journal*: 2008, 17 (12), 1735-44.
32. Zhou, J.; Xia, Q.; Dong, J.; Li, X.; Zhou, X.; Fang, T.; Lin, H., Comparison of stand-alone polyetheretherketone cages and iliac crest autografts for the treatment of cervical degenerative disc diseases. *Acta Neurochirurgica*: 2011, 153 (1), 115-22.

33. Hsu, W. K.; Wang, J. C., Biologic substitutes in spinal arthrodesis. *Coluna/Columna*: 2007, 6 (3), 174-82.
34. Ioannis, G. D.; Athanasios, K.; Aggelos, P. N.; Charalambos, M.; Khaled, A. Q.; Nikolaos, B. A.; Alexandros, B. E., Bone Graft Wrapping with Cellulose Polymer Sheet in Posterior Spinal Fusion. A Technical Note. *Journal Spine*: 2012, 1 (1), 1-5.
35. Carlisle, E.; Fischgrund, J. S., Bone morphogenetic proteins for spinal fusion. *The Spine Journal*: 2005, 5, 240-9.
36. FrateziI, J.; GebhardI, H.; Härtl, R., Artrodese na coluna cervical utilizando SiCaP como substituto de enxerto ósseo. *Coluna/Columna*: 2011, 10 (2), 144-47.
37. Spruit, M.; Falk, R. G.; Beckmann, L.; Steffen, T.; Castelein, R. M., The in vitro stabilising effect of polyetheretherketone cages versus a titanium cage of similar design for anterior lumbar interbody fusion. *European Spine Journal*: 2005, 14 (8), 752-8.
38. Amedica Ceramics products. <http://amedica.com/products/index.html> (acedido em 26/10/2012).
39. Holifield, S.; Nartker, S. Amedica's Proprietary Silicon Nitride Interbody Fusion Devices Become the New Standard of Care. <http://amedica.com/company/news/significant-expansion-of-biomaterial-claims.html> (acedido em 25/10/2012).
40. Olson, E.; Webster, T. J.; Skidmore, G. A. Silicon Nitride Material in Orthopaedic Implants: Features and Benefits: 2012. <http://www.orthopreneurpub.com/component/content/article/279-silicon-nitride-material-in-orthopaedic-implants-features-and-benefits> (acedido em 25/10/2012).
41. Kara, T. M. *The Biomechanical Behavior of Stainless Steel, Titanium and Cobalt-Chromium-Molybdenum Spinal Assemblies in a Vertebrectomy Model*; University of Alaska Anchorage: 2009.
42. Kabins, M. B.; Weinstein, J. N., The History of Vertebral Screw and Pedicle Screw Fixation. *Iowa Orthopaedics Journal*: 1991, 11, 127-136.
43. Song, J. J.; Barrey, C. Y.; Ponnappan, R. K.; Bessey, J. T.; Shimer, A. L.; Vaccaro, A. R., Pedicle screw-based dynamic stabilization of the lumbar spine. *Pan Arab Journal of Neurosurgery*: 2010, 14 (1), 1-8.
44. Gelalis, I. D.; Paschos, N. K.; Pakos, E. E.; Politis, A. N.; Arnaoutoglou, C. M.; Karageorgos, A. C.; Ploumis, A.; Xenakis, T. A., Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *European Spine Journal*: 2012, 21 (2), 247-55.
45. Costa, F.; Cardia, A.; Ortolina, A.; Fabio, G.; Zerbi, A.; Fornari, M., Standard Preoperative Versus Intraoperative Computed Tomography Data Set Acquisition for Computer-guidance System: Radiological and Clinical Study in 100 Consecutive Patients. *Spine*: 2011, 36 (24), 2094-98.
46. Park, P.; Foley, K. T., *Percutaneous Lumbar Pedicle Screw Fixation*: 2007; pp 59-60.
47. Krestel, E., *Imaging Systems for Medical Diagnostics*. Siemens/Publicis: 1990.
48. Philips Healthcare, Philips Veradius mobile C-arm with Flat Detector. http://www.healthcare.philips.com/us_en/products/xray/products/c_arms/veradiusneo/index.wpd (acedido em 19/10/2012).

-
49. Ziehm Imaging, Ziehm Vision FD Vario 3D. Distortion-free 3D-imaging. <http://www.ziehm.com/en/products/ziehm-vision-fd-vario-3d/> (acedido em 19/10/2012).
50. Siemens Healthcare, Siemens ARCADIS Orbic 3D. <http://healthcare.siemens.com/surgical-c-arms-and-navigation/mobile-c-arms/arcadis-orbic-3d> (acedido em 19/10/2012).
51. Medtronic, O-arm Surgical Imaging System. <http://www.medtronic.com/for-healthcare-professionals/products-therapies/neurological/surgical-navigation-and-imaging/o-arm-surgical-imaging-system/index.htm> (acedido em 19/10/2012).
52. Hoelzle, F.; Klein, M.; Schwerdtner, O.; Lueth, T.; Albrecht, J.; Hosten, N.; Felix, R.; Bier, J., Intraoperative computed tomography with the mobile CT Tomoscan M during surgical treatment of orbital fractures. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*: 2001, 30 (1), 26-31
53. Knoop, H.; Raczkowski, J.; Wyslucha, U.; Fiegele, T.; Eggers, G.; Wörn, H., Integration of intraoperative imaging and surgical robotics to increase their acceptance. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*: 2007, 1 (5), 243-251.
54. Marques, A.; Enes, D.; Ferreira, N.; Lopes, R., TC Intra-operatória: Múltiplas aplicações nas diversas especialidades médico-cirúrgicas. XV Congresso Nacional da ATARP, 2011.
55. Winn, H. R.; Stanley, R. B., Intra-operative CT in neurosurgery and maxillofacial reconstruction. *Medicamundi*: 1998, 42 (1), 12-14.
56. Ploss, C.; Maier, B.; Mack, M. G.; Marzi, I., Accuracy of CT-assisted pedicle screw placement after CT-controlled, presurgical guide wire implantation in traumatic and pathological fractures in the thoracic spine. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*: 2011, 37 (2), 121-26.
57. Gonschorek, O.; Hauck, S.; Spiegl, U.; Weiß, T.; Pätzold, R.; Bühren, V., O-arm-based spinal navigation and intraoperative 3D-imaging: first experiences. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*: 2011, 37 (2), 99-108.
58. Tjardes, T.; Shafizadeh, S.; Rixen, D.; Paffrath, T.; Bouillon, B.; Steinhausen, E. S.; Baethis, H., Image-guided spine surgery: state of the art and future directions. *European Spine Journal* 2010, 19 (1), 25-45.
59. Silbermann, J.; Riese, F.; Allam, Y.; Reichert, T.; Koeppert, H.; Gutberlet, M., Computer tomography assessment of pedicle screw placement in lumbar and sacral spine: comparison between free-hand and O-arm based navigation techniques. *European Spine Journal* 2011, 20 (6), 875-81.
60. Lee, M.-J.; Kim, S.; Lee, S.-A.; Ho-Taek; Song; Huh, Y.-M.; Kim, D.-H.; Han, S. H.; Suh, J.-S., Overcoming Artifacts from Metallic Orthopedic Implants at High-Field-Strength MR Imaging and Multidetector CT. *Radiographics* 2007, 27 (3), 791-803.